



TUGAS AKHIR - RC 141501

**PERMODELAN STRUKTUR PELAT
PRECAST HOLLOW CORE SLABS (HCS)
PRATEGANG DENGAN PEMBEBANAN
SATU ARAH PADA GEDUNG STRUKTUR
BETON BERTULANG DENGAN BANTUAN
SOFTWARE FINITE ELEMENT**

**RIVAN TOVANI
NRP 3112 106 027**

**Dosen Pembimbing
Budi Suswanto, ST.,MT.,Ph.D
Dwi Prasetya, ST. MT. MSc**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RC 141501

**PRECAST HOLLOW CORE SLABS (HCS)
PRESTRESSED STRUCTURE MODELING
WITH ONE WAY LOADING AT CONCRETE
BUILDING STRUCTURE USING FINITE
ELEMENT SOFTWARE AID**

**RIVAN TOVANI
NRP 3112 106 027**

**SUPERVISOR
Budi Suswanto, ST.,MT.,Ph.D
Dwi Prasetya, ST. MT. MSc**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

**PERMODELAN STRUKTUR PELAT *PRECAST HOLLOW*
CORE SLABS (HCS) PRATEGANG DENGAN
PEMBEBANAN SATU ARAH PADA GEDUNG
STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN BANTUAN
SOFTWARE FINITE ELEMENT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

Bidang Studi Struktur

Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

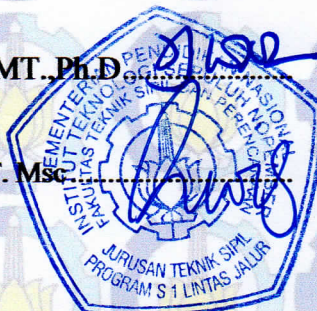
RIVAN TOVANI

NRP. 3112. 106. 027

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Budi Suswanto, ST.,MT.,Ph.D. (Pembimbing I)

Dwi Prasetya, ST.MT. Msc. (Pembimbing II)



**SURABAYA
JUNI, 2015**

**PERMODELAN STRUKTUR PELAT *PRECAST HOLLOW*
CORE SLABS (HCS) PRATEGANG DENGAN
PEMBEBANAN SATU ARAH PADA GEDUNG
STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN BANTUAN
SOFTWARE FINITE ELEMENT**

Nama Mahasiswa : Rivan Tovani
NRP : 3112106027
Jurusan : Teknik Sipil, FTSP-ITS
Dosen Konsultasi : Budi Suswanto ST,MT, PhD
Dwi Prasetya, ST.MT. MSc

ABSTRAK

Penggunaan pelat *precast hollow core slabs (HCS)* prategang pada pembangunan gedung merupakan alternatif dari pelat konvensional atau cor di tempat. Keuntungannya berat sendiri pelat *HCS* ini lebih kecil dibandingkan dengan pelat konvensional dengan dimensi dan tebal yang sama, sehingga mengurangi berat total struktur bangunan. Dimana pelat *precast hollow core slabs (HCS)* prategang yang berada di pasaran saat ini di desain secara umum sebagai pelat pracetak dengan adanya lubang menerus untuk mengurangi berat dan biaya produksi.

Dalam praktek di lapangan, pelat *precast hollow core slabs* prategang sebagai komponen yang memiliki kekakuan puntir yang tinggi dan mempunyai sifat penyaluran beban yang lebih baik dari komponen-komponen yang fleksibel dalam puntir seperti balok-T ganda dengan sayap/flens tipis (SNI 03-2847-2002/Pasal 18.3.2). Akan tetapi masih ditemui kendala berupa keretakan pada komponen pelat *precast*nya. Gaya-gaya bidang terutama hasil gaya tarik diafragma di pelat ,menyebabkan tegangan tarik atau tekan pada tepi-tepi diafragma dan geser pada badan diafragma. Pembebanan satu arah *precast* adalah elemen atau komponen pelat lantai yang dibuat pracetak dengan

ketebalan tertentu, sehingga diperlukan pengecoran *cast in situ* (cor di tempat) untuk *overtoppingnya*

Dalam penelitian ini akan dimodelkan *precast hollow core slabs (HCS)* prategang dengan berbagai macam tipe memiliki variabel dimensi dan mutu beton yang berbeda. Dibandingkan dengan pelat *precast* nonprategang dengan dimensi yang sama. Bertujuan untuk mengetahui perilaku dari struktur yang mengalami pembebanan dua arah ditinjau dari pengaruh lendutan dan tegangan.

Dari hasil analisa perilaku struktur yang terjadi didapat bahwa pelat *precast* HCS 1 - SQ prategang tipe rongga persegi dengan lebar 1,2 m x 7,2 m memiliki nilai tegangan tarik sebesar 0,92 MPa dan tekan sebesar 12,09 MPa terkecil dibandingkan dengan pelat *precast* HCS 1 - CIR prategang tipe rongga bulat maupun pelat *precast* HCS NON-prategang dengan dimensi yang sama sedangkan nilai P. Maksimumnya terbesar yaitu 15,80 kN.

Kata kunci : *precast hollow core slabs (HCS)* prategang, tegangan lentur.

**PRECAST HOLLOW CORE SLABS (HCS) PRESTRESSED
STRUCTURE MODELING WITH ONE WAY LOADING
AT CONCRETE BUILDING STRUCTURE USING
FINITE ELEMENT SOFTWARE AID**

Name of Student : Rivan Tovani
Student Reg. Number : 3112106027
Department : Civil Engineering, FTSP-ITS
Supervisor : Budi Suswanto ST,MT, PhD
Dwi Prasetya, ST.MT. Msc

ABSTRACT

The use of plate precast hollow core slabs (HCS) prestressed on building an alternative to conventional plate or cast-in situ in place. The advantage own weight HCS plate is smaller than the conventional plates with the same dimensions and thickness, thus reducing the total weight of the structure. Where plates precast hollow core slabs (HCS) prestressed who are in the constuction today are generally designed as precast slab with the hole constantly to reduce the weight and cost of production.

In practice in the field, plate precast prestressed hollow core slabs as a component that has a high torsional stiffness and has properties better load distribution of the components are flexible in torsion as a double T-beam with the wing / thin flange (SNI 03-2847 -2002 / Article 18.3.2). But still encountered obstacles in the form of cracks on components precast plate. The forces of gravity field is primarily the result of the diaphragm in the plate, causing tensile stress or pressure on the edges of the diaphragm and slide on the diaphragm body. Imposition is one

way of precast elements or components made of precast floor slabs with a certain thickness, so that the necessary foundry cast in situ (cast in place) for overtopping.

In this study will be modeled precast hollow core slabs (HCS) prestressed with type has variable dimensions and different concrete quality. Compared with precast plates with dimensions sama. Bertujuan nonprategang to determine the behavior of the structure that suffered the imposition of a two-way in terms of the influence of deflection and stress.

From the analysis of the behavior of structures occurring HCS found that the precast slab 1 - SQ prestressed types of hollow square with a width of 1.2 m x 7.2 m has a value of 0.92 MPa tensile stress and pressure of 12.09 MPa smallest compared with precast plates HCS 1 - CIR types of hollow spherical or prestressed precast plate HCS NON-prestressed with the same dimensions whereas P. the maximum value of the largest is 15,80 kN.

Key Word : *precast hollow core slabs (HCS) prestressed, bending stress.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam yang selalu tercurah kepada pemimpin kita Nabi Muhammad SAW sehingga kami dapat menyelesaikan dan menyusun Tugas Akhir ini dengan judul “Permodelan Struktur Pelat *Precast Hollow Core Slabs* (HCS) Prategang Dengan Pembebanan Satu Arah Pada Gedung Struktur Beton Bertulang Dengan Bantuan Software Finite Element”.

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami ucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Orang tua dan saudara-saudara saya yang senantiasa mendoakan serta memberikan dorongan dan semangat selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Budi Suswanto, ST.,MT.,Ph.D., selaku dosen pembimbing dan Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS yang selalu memberikan pengarahan, dukungan, motivasi, dan ilmu yang tidak ternilai harganya.
3. Bapak Dwi Prasetya, ST.,MT.,MSc selaku dosen pembimbing.
4. Bapak Cahyono Bintang Nurcahyo, ST., MT selaku dosen wali .
5. Segenap dosen, staf pengajar dan staf tata usaha yang telah memberikan segala ilmu, pengetahuan, bantuan dan kemudahan kepada penulis selama menjalani kuliah di Teknik Sipil ITS.
6. Teman-teman seperjuangan LJ-12 dan semua rekan mahasiswa Teknik Sipil ITS lainnya.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, semoga apa yang kami sajikan dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Surabaya, Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul Indonesia	
Halaman Judul Inggris	
Lembar Pengesahan	
Abstrak Indonesia	i
Abstrak Inggris	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum.....	5
2.2 Hollow Core Slabs (HCS)	9
2.2.1 Pengertian	9
2.2.2 Konsep Dasar	10
2.2.3 Konsep Prategang	10
2.2.4 Perilaku balok/pelat satu arah prategang akibat Lentur.....	13
2.2.5 Keuntungan dari sistem pelat (HCS)	14
2.2.6 Model pembebanan hollow core slabs (HCS)	15
2.3 Penelitian Sebelumnya.....	19
2.4 Material dasar hollow core slabs.....	23
2.4.1 Beton	23
2.4.2 Baja... ..	25
2.5 Analisa elemen struktur	27
2.6 Daerah <i>KERN</i> (Inti Beton Prategang)	28

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum.....	31
3.2 Flow Chart	32
3.3 Perencanaan dimensi penampang	33
3.2.1 Pengumpulan data	33
3.2.2 Perencanaan beton	34
3.2.3 Perencanaan baja	40
3.2.4 Gaya prategang	40
3.2.5 Kehilangan gaya prategang	41
3.2.6 Kontrol tegangan.....	47
3.2.7 Kekuatan batas pelat prategang.....	48
3.2.8 Perhitungan geser.....	50
3.2.9 Kontrol lendutan	51
3.2.10Pemodelan dengan program finite element	52

BAB IV ANALISA PENAMPANG LENTUR

4.1 Preliminary Desain	75
4.2 Perhitungan luas penampang dan insersia.....	76
4.3 Perhitungan akibat handling.....	79
4.4 Perhitungan hcs (per satu meter lebar)	81
4.5 Perhitungan gaya dalam pelat hcs	83
4.6 Perhitungan kehilangan gaya prategang.....	84
4.7 Perhitungan tegangan dan kapasitas pelat hcs dengan bentang 7,2 m	89
4.8 Perhitungan tegangan pada gaya prategang	93
4.9 Perhitungan kapasitas momen.....	97
4.10 Perhitungan kapasitas retak.....	99
4.11 Perhitungan kekuatan geser	100
4.12 Perhitungan lendutan	102
4.13 Hasil Perhitungan Analitis	105

BAB V HASIL DAN ANALISA PERMODELAN *FINITE ELEMENT*

5.1 Hasil dan analisa permodelan hcs	111
5.2 Perbandingan hasil permodelan hcs	127

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan	129
6.2 Saran	130
Daftar Pustaka	

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai displacement dari pengujian lentur (F.Elghabbas, dkk, 2010)	17
Tabel 2.2	Nilai displacement dari pengujian lentur (F.Elghabbas, dkk, 2010)	18
Tabel 2.3	Ringkasan Hasil Test Uji Experimental HCS di Dapat tegangan geser dan displacement (Hegger,dkk:2008)	21
Tabel 2.4	Ringkasan hasil test uji experimental HCS <i>web-shear cracking test</i> (Hawkins : 2006).....	22
Tabel 2.5	Mutu baja wire..	27
Tabel 3.1	Konversi mutu beton..	34
Tabel 3.2	Nilai modulus elastisitas beton (Ec) berbagai mutu beton.....	35
Tabel 3.3	Parameter plasticity.....	36
Tabel 3.4	Tegangan dan dan regangan mutu beton K-400.....	37
Tabel 3.5	Tipe permodelan pelat.....	39
Tabel 3.6	Koefisien susut pascatarik (<i>post-tension</i>)	44
Tabel 3.7	Nilai nilai K_{Fe} dan J	45
Tabel 3.8	Nilai C.....	46
Tabel 3.9	Density material hollow core slabs	54
Tabel 3.10	Plasticity Material Beton (Kmiecik, 2011)....	56
Tabel 3.11	Tegangan inelastik wire	61
Tabel 3.12	<i>Displacement</i> setiap step	69
Tabel 4.1	Momen yang terjadi saat handling	80
Tabel 4.2	Kehilangan gaya prategang pada beberapa tipe pelat hcs	87
Tabel 4.3	Luasan total penampang.....	94
Tabel 4.4	Tegangan awal prategang.....	95
Tabel 4.5	Tegangan akhir prategang	96
Tabel 4.6	Gaya geser	101
Tabel 4.7	Kontrol gaya geser	101
Tabel 4.8	Tegangan lentur hcs	105

Tabel 4.9	Teganganprategang tendon pc-wire	106
Tabel 4.10	Kapasitas momen pelat hcs	107
Tabel 4.11	Tegangan geser	108
Tabel 4.12	Lendutan pada hcs.....	109
Tabel 5.1	Tipe permodelan pelat.....	111
Tabel 5.2	Perbandingan teg. tarik dan teg. tekan.....	127
Tabel 5.3	Rangkuman hasil permodelan pelat HCS	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Momen pada pelat satu arah dan dua arah.....	6
Gambar 2.2	Tipe-tipe pelat beton	7
Gambar 2.3	Ilustrasi 3D pelat hollow core slabs dengan Balok-T	9
Gambar 2.4	Sistem Pre-tensioning (sumber : diktat beton prategang.....	11
Gambar 2.5	Sistem Post-tensioning (sumber : diktat beton prategang.....	11
Gambar 2.6.	Tipe rongga pelat hcs....	12
Gambar 2.7	Perilaku balok/pelat prategang akibat lentur..	13
Gambar 2.8	Workshop produksi pelat precast hcs....	14
Gambar 2.9	Konstruksi gedung dengan pelat hcs....	14
Gambar 2.10	Bentuk pengujian eksperimental (F.Elgabbas, dkk)	15
Gambar 2.11	Pola keretakan karena lentur pada HCS (F.Elgabbas, dkk, 2010)	17
Gambar 2.12	Grafik beban vs lendutan(F.Elgabbas, dkk, 2010)	18
Gambar 2.13	Grafik tegangan lentur tekan (F.Elgabbas, dkk, 2010)	19
Gambar 2.14	Tegangan pada hollow core slabs dengan pengaku balok baja(Hegger, dkk : 2008).....	20
Gambar 2.15	Grafik tegangan – regangan beton	25
Gambar 2.16	Berbagai tipe baja prategang.....	26
Gambar 2.17	Daerah <i>kern</i> beton prategang.....	28
Gambar 2.18	Nilai e_{min} dan e_{min} pada penampang balok/pelat.....	30
Gambar 2.19	Daerah batas cgs yang memperbolehkan teg. tarik Pada beton.....	30
Gambar 3.1	Gambar denah pelat lantai yang dianalisa....	32
Gambar 3.2	Diagram alir metodologi perencanaan hcs....	33
Gambar 3.3	Penampang hcs tipe rongga bulat	31
Gambar 3.4	Penampang hcs tipe rongga persegi.	34
Gambar 3.5	Grafik tegangan-regangan kondisi tarik beton mutu K-400.	38

Gambar 3.6	Grafik tegangan-regangan kondisi tekan beton mutu K-400.	38
Gambar 3.7	Gaya-gaya yang bekerja pada pelat hollow core slabs.	41
Gambar 3.8	Tampilan awal permodelan finite element....	52
Gambar 3.9	Tampilan create part hcs.....	53
Gambar 3.10	Part plat hcs.....	54
Gambar 3.11	Part wire	55
Gambar 3.12	Properti material elastik hollow core slabs dalam Abaqus	57
Gambar 3.13	Properti material plasticity hollow core slabs dalam Abaqus	58
Gambar 3.14	<i>Compressive behaviour</i> beton $f'c$ 31,2 MPa (Kondisi tekan)	59
Gambar 3.15	<i>Tensile behaviour</i> beton $f'c$ 31,2 MPa (Kondisi tarik)	60
Gambar 3.16	Input property plastic pada material baja	61
Gambar 3.17	Section manager	62
Gambar 3.18	<i>Layout</i> penulangan wire	63
Gambar 3.19	<i>HCS assembly</i>	63
Gambar 3.20	<i>Step manager</i>	64
Gambar 3.21	<i>Embedded region</i>	65
Gambar 3.22	<i>Host region</i>	65
Gambar 3.23	<i>Interaction Embedded Region</i>	66
Gambar 3.26	<i>Create set</i>	67
Gambar 3.25	<i>Element</i> untuk Set-1	67
Gambar 3.26	<i>Boundary conditions</i>	68
Gambar 3.27	<i>Boundary conditions manager</i>	69
Gambar 3.28	<i>Mesh</i> permodelan tulangan wire	70
Gambar 3.29	<i>Mesh</i> permodelan pelat hcs	70
Gambar 3.30	<i>Job manager</i>	71
Gambar 3.31	<i>Create Job</i> untuk input file.	72
Gambar 3.32	<i>Job input file</i> pada <i>job manager</i> yang telah di run.....	72
Gambar 3.33	Tegangan maksimum yang terjadi.	73
Gambar 3.33	Lendutan maksimum yang terjadi.	73
Gambar 4.1	Penampang hollow core slabs.	75
Gambar 4.2	Detail potongan pelat hollow core slabs.....	76

Gambar 4.3	Arah gaya pada penampang hcs.	77
Gambar 4.4	Momen yang terjadi pada saat handling.	79
Gambar 4.6	Eksentrisitas kabel tendon prategang.	83
Gambar 4.7	Grafik mutu beton terhadap kehilangan gaya prategang.....	88
Gambar 4.8	Penampang hcs komposit.....	91
Gambar 4.9	Penampang hcs komposit.....	92
Gambar 4.10	Titik berat penampang (dalam 1 pias)	94
Gambar 5.1	Step-1 <i>Prestressed release</i>	112
Gambar 5.2	Step-2 Displacement 10 mm	112
Gambar 5.3	Step-3 Displacement 20 mm	113
Gambar 5.4	Step-4 Displacement 30 mm	113
Gambar 5.5	Step-5 Displacement 40 mm	114
Gambar 5.6	Step-6 Displacement 50 mm	114
Gambar 5.7	Penampang HCS melendut pada step-5.....	115
Gambar 5.8	Grafik Teg. tarik HCS – SQ Vs HCS – NON SQ.....	115
Gambar 5.9	Grafik Teg. tekan HCS – SQ Vs HCS – NON SQ.....	116
Gambar 5.10	Grafik Teg. tekan HCS – CIR Vs HCS – NON CIR	116
Gambar 5.11	Grafik Teg. tarik HCS – CIR Vs HCS – NON CIR	117
Gambar 5.12	Grafik Teg. tekan HCS 1A – CIR Vs HCS 1A- SQ	117
Gambar 5.13	Grafik Teg. tarik HCS 1A – CIR Vs HCS 1A- SQ	118
Gambar 5.14	Garfik Teg. tarik HCS mutu K-400.....	119
Gambar 5.15	Garfik Teg. tarik HCS mutu K-450.....	119
Gambar 5.16	Garfik Teg. tarik HCS mutu K-500.....	120
Gambar 5.17	Garfik Teg. tarik HCS mutu K-600.....	120
Gambar 5.18	Garfik Teg. tekan HCS mutu K-400.....	121
Gambar 5.19	Garfik Teg. tekan HCS mutu K-450.....	121
Gambar 5.20	Garfik Teg. tekan HCS mutu K-500.....	122
Gambar 5.21	Garfik Teg. tekan HCS mutu K-600.....	122
Gambar 5.22	Tegangan tampak atas HCS 1 -CIR.....	123
Gambar 5.23	Tegangan tampak bawah HCS 1 -CIR	123
Gambar 5.24	Tegangan tampak atas HCS 1 - SQ.....	124

Gambar 5.25	Tegangan tampak bawah HCS 1 -SQ.....	124
Gambar 5.26	Tegangan tampak atas HCS 1A - SQ	125
Gambar 5.27	Tegangan tampak bawah HCS 1A -SQ	125
Gambar 5.28	Tegangan tampak atas HCS 1A -CIR.....	126
Gambar 5.29	Tegangan tampak bawah HCS 1A -CIR	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung bertingkat umumnya menggunakan elemen-elemen struktur berupa balok, kolom, dan pelat untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat pembebanan. Dewasa ini mulai banyak bangunan gedung bertingkat yang menggunakan sistem pelat precast *hollow core slabs (HCS)* prategang sebagai pengganti sistem pelat konvensional. Penggunaan pelat HCS dapat menghemat waktu konstruksi jika dibandingkan dengan cor beton setempat. Sistem *hollow core slabs* adalah pelat dengan pembebanan satu arah (*one-way slabs*) merupakan struktur prategang yang mempunyai rongga menerus, yang berfungsi untuk mengurangi berat sendiri.

Dengan adanya struktur berongga tersebut pelat akan mengalami tegangan lentur, maka harus mempunyai kemampuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi yang terjadi. Prinsip beton pratekan pada HCS yaitu, gaya prategang berupa gaya aksial tekan diberikan pada bagian-bagian beton untuk mengimbangi sebagian tegangan tarik yang timbul akibat beban-beban yang bekerja. Untuk dapat berperilaku sebagai diafragma struktur yang kaku, maka sistem pelat HCS harus dapat mentransferkan beban lateral yang bekerja secara merata pada elemen-elemen struktur vertikal penopangnya (Pantazopoulou dan Imran, 1992). *Hollow Core Slabs (HCS)* ditemukan oleh Gerald A. Rauenhorst pada tahun 1975 awal mulanya berupa panel beton berongga didalamnya berisi plastik berbusa. Kemudian dikembangkan oleh Donald R. Buettner dan Roger J. Becker berbagai macam bentuk dan

dimensi seperti yang mengacu pada ACI 318-05. Marco Menegotto (2005) melakukan modifikasi pada permukaan beton sambungan dengan membuat pola betuk (*shear key*) dengan tujuan saat panel pelat pracetak hendak bergerak satu terhadap lainnya, akan terjadi mekanisme *interlocking* antara panel pelat pracetak. Selain itu juga terdapat sambungan dengan menggunakan *embedded plate* yang sudah terpasang pada panel pelat saat panel pracetak di produksi di pabrik.

Alasan penggunaan pelat precast *hollow core slabs* (HCS) prategang dalam perencanaan gedung ini adalah karena tidak membutuhkan bekisting atau perancah yang banyak saat pelaksanaan sehingga durasi waktu konstruksi berlangsung singkat, akan tetapi plat precast *hollow core slabs* (HCS) prategang dapat difabrikasi di workshop precast sebelum konstruksi gedung di mulai. Oleh karenanya, dalam mendesain pelat HCS diperlukan alat pengangkutan yang memadai selama konstruksi. Dikarenakan pelat HCS memiliki bentang dan ketebalan yang variatif sehingga membutuhkan metode pengangkatan yang khusus.

Dalam tugas akhir ini, kami bermaksud menganalisa permodelan struktur pelat *precast hollow core slabs* (HCS) prategang dengan pembebanan satu arah pada gedung struktur beton bertulang dibandingkan dengan pelat *precast HCS* nonprategang dengan dimensi dan variabel beton yang berbeda untuk mengetahui perilaku tegangan geser dan lentur, serta displacement yang terjadi. Yaitu dengan perhitungan pelat precast *hollow core slabs* prategang/nonprategang dengan pembebanan displacement. Untuk merealisasikan rencana tersebut diperlukan desain struktur yang mampu bekerja dengan dimensi dan kekuatan yg direncanakan, maka perlu studi dimensi, dan material yg sesuai mutlak menjadi solusinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang utama diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas meliputi :

1. Bagaimana merencanakan struktur pelat sistem precast *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang untuk mengetahui kehilangan gaya pratekan, tegangan geser dan lenturnya dengan beberapa variabel?
2. Bagaimana permodelan precast *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang dengan pembebanan satu arah dimana model dibuat dari variabel mutu beton, dan dimensi yang digunakan dengan bantuan software finite element?
3. Bagaimana mengetahui perilaku pada *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang dengan pembebanan satu arah dibandingkan dengan sistem pelat HCS precast nonprategang?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini permasalahan akan dibatasi sampai dengan batasan-batasan, antara lain :

1. Tidak melakukan pengujian perancangan, namun hanya menganalisa struktur dengan bantuan software finite element dan perhitungan manual dengan model ukuran segmental 1200mm x 7200 mm dan 2300 x 7200 mm.
2. Ketebalan pelat HCS dan overtopping hanya 50 mm.
3. Analisa mengacu pada aplikasi gedung Rumah Sakit Pelabuhan Surabaya.
4. Perencanaan tidak meninjau analisa biaya, waktu, dan manajemen konstruksi.

5. Perencanaan tidak meninjau perhitungan struktur utama balok, kolom, tangga, dan pondasi.
6. Perencanaan tidak memperhitungkan sambungan pelat

1.4 Tujuan

Maksud dan tujuan dari tugas akhir ini secara umum antara lain:

1. Mendapatkan cara membuat permodelan pelat sistem precast *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang dengan pembebanan satu arah dari variabel segmen dan mutu beton yang digunakan dengan bantuan software finite element.
2. Mendapatkan perilaku sistem *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang dengan pembebanan satu arah ditinjau dari pengaruh lendutan dan tegangan dibandingkan dengan pelat HCS precast non prategang.

1.5 Manfaat

Manfaat tugas akhir ini secara umum adalah sebagai berikut:

- Sebagai bahan masukan pertimbangan dalam perencanaan pelat sistem precast *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang dengan pembebanan satu arah dengan sistem pelat HCS precast nonprategang.
- Sebagai bahan pertimbangan terhadap hal-hal yang harus diperhatikan pada saat perencanaan pelat sistem precast *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang dengan pembebanan satu arah sehingga kegagalan struktur dapat diminimalisir.

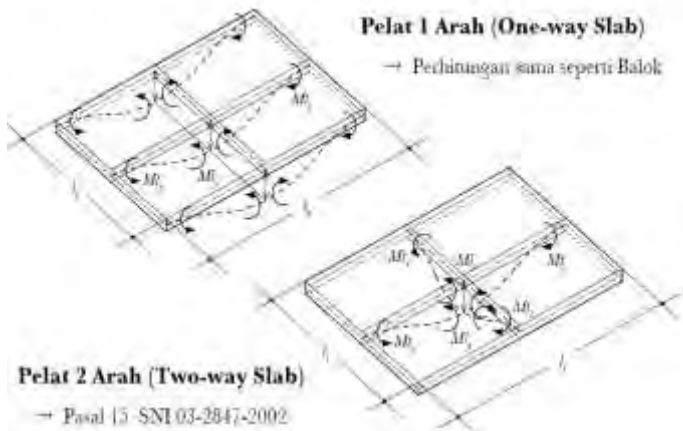
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Desain lentur dari pelat satu-arah sederhana umumnya sama dengan balok. Hampir semua pelat (slabs) menerus didesain sebagai balok menerus. Pelat satu-arah diberikan tulangan utama hanya di sepanjang pelat. Semua tumpuan pelat tersebut adalah menerus selebar pelat, sehingga tidak terdapat tumpuan-setempat atau tumpuan memanjang searah panjang pelat. Prosedur yang umum dalam mendesain pelat prategang satu-arah adalah dengan meninjau suatu pias pelat selebar 1 ft, dan pias ini diberlakukan sebagai suatu balok, sebagaimana lazimnya pada pelat beton bertulang satu-arah. Baik pelat sederhana, kantilever, maupun menerus, didesain sebagai suatu balok dengan tumpuan sendi yang identik.

Walaupun baja prategang utama dipasang searah panjang pelat saja, tulangan melintang (prategang atau bukan) dapat ditambahkan untuk mengatasi susut dan untuk mendistribusikan beban terpusat. Untuk pelat satu-arah yang disinggung di atas, bebannya adalah terbagi rata seperti yang diharapkan dalam hampir semua bangunan. Dengan jenis beban seperti ini, seluruh pelat di bebani secara merata, dan momen di arah melintang tidak merupakan masalah.



Gambar 2.1 Momen pada pelat satu arah dan dua arah

Berdasarkan arah deformasi struktur, pelat lantai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

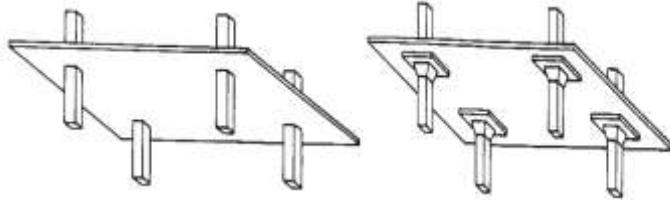
1. Pelat lantai satu arah (one way slab)

Pelat lantai satu arah adalah pelat lantai yang saat dibebani oleh beban eksternal, akan terjadi deformasi satu arah saja kearah memanjang pelat lantai. Pelat satu arah merupakan pelat dengan rasio perbandingan panjang dan lebar sebesar ≥ 2 .

2. Pelat lantai dua arah (two way slab)

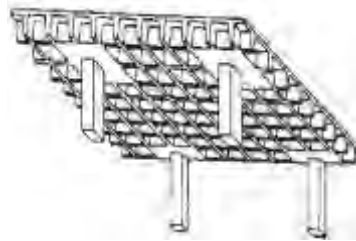
Pelat lantai dua arah adalah pelat lantai yang saat dibebani oleh beban eksternal, akan terjadi deformasi untuk kedua arahnya. Pelat dua arah memiliki rasio perbandingan panjang dan lebar ≤ 2 .

Berbagai macam desain pelat lantai berdasarkan sistem pendistribusian beban dari pelat ke kolom seperti gambar dibawah ini :



(a). *Flat plate*

(b). *Slab with column capitals and drop panels*



(c). *Waffle slab*

Gambar 2.2 Tipe-tipe desain pelat beton

Hubungan antara pelat dengan tumpuannya menjadi satu bagian dari perencanaan pelat. Secara umum terdapat tiga jenis tumpuan pelat pada balok sebagai berikut :

1. ***Terletak bebas***, yaitu pelat bertumpu dengan bebas pada balok atau perletakan lainnya. Tumpuan jenis ini diperhitungkan tidak monolit dengan tumpuannya sehingga mengakibatkan pelat dapat mengalami rotasi

dengan bebas pada tumpuan tersebut. Pada keadaan ini tumpuan diasumsikan sebagai roller.

2. ***Terjepit elastis***, yaitu saat dimana pelat dan tumpuannya monolit akan tetapi inersia dari tumpuan (balok) cukup kecil sehingga masih memungkinkan terjadinya rotasi. Sehingga pada keadaan ini tumpuan diasumsikan sebagai sendi (joint).
3. ***Terjepit penuh***, yaitu keadaan dimana pelat terjepit penuh terhadap tumpuan yang kaku sehingga rotasi tidak dapat terjadi. Hal ini mengakibatkan terjadinya momen lentur pada pelat dan momen torsi pada tumpuannya. Sehingga pada keadaan ini tumpuan diasumsikan sebagai jepit.

Struktur utama pada bangunan gedung merupakan sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan penggunaan dan atau kehadiran bangunan di atas tanah. Struktur terdiri dari unsur-unsur atau elemen-elemen yang terintegrasi dan berfungsi sebagai satu kesatuan utuh antara balok, kolom, dan pelat untuk menyalurkan semua jenis beban yang diantisipasi ke tanah. Dalam hal ini akan dikaji lebih lanjut mengenai pelat hollow core slabs.

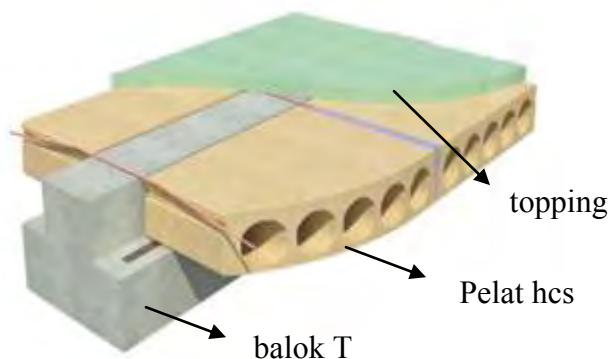
Sistem pelat precast *Hollow Core Slabs (HCS)* prategang mengandalkan kekuatan baja yang tertarik dan ditahan oleh beton dalam tertekan. Kombinasi beton dan baja tersebut saling bekerja secara aktif sehingga disebut prategang. Pelat HCS yaitu pelat *satu arah atau one-way slabs* dengan tulangan utama hanya di sepanjang pelat. Semua tumpuan pelat tersebut adalah menerus selebar pelat, sehingga tidak terdapat tumpuan setempat atau tumpuan memanjang searah panjang pelat.

2.2 Hollow Core Slabs (HCS)

2.2.1 Pengertian

Sistem pelat precast *Hollow Core Slabs* prategang merupakan pelat beton dengan struktur prategang yang mempunyai rongga menerus/ berlubang ditengahnya. Lubang tersebut memiliki beberapa manfaat seperti pengurangan volume beton, pengurangan berat slab, sebagai tempat untuk komponen mekanik dan elektrik, dan sebagainya. Fellingner Stark dan Jost (2005) hollow core slabs ialah terbuat dari beton precast dengan baja prategang dengan mutu beton dan mutu baja yang tinggi.

Pelat precast *Hollow Core Slabs* prategang didesain untuk mampu memikul beban aksial dan geser secara maksimal. Dan diharapkan lendutan yang terjadi memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Dalam hal ini penyatuan pelat precast *hollow core slabs* prategang dengan struktur balok utama gedung menjadi satu bagian yang disebut dengan struktur komposit. Sehingga gaya-gaya yang bekerja pada pelat akan diteruskan dan diterima oleh balok induk.



Gambar 2.3 Ilustrasi 3D pelat hollow core slabs dengan Balok -T

2.2.2 Konsep Dasar

Ide mengenai hollow core slabs (HCS) berawal dari berawal dari teori elastis tegangan lentur, dimana diketahui bahwa tegangan maksimum ditahan oleh sisi terluar penampang, sedangkan bagian tengah penampang hanya menahan sebagian kecil dari tegangannya. Pada saat kondisi ultimate tercapai, kapasitas momen antara resultan tegangan terjadi pada sisi tekan dan sisi tarik. Dengan demikian beton pada bagian tengah diasumsikan tidak menyumbangkan kekuatan lentur.

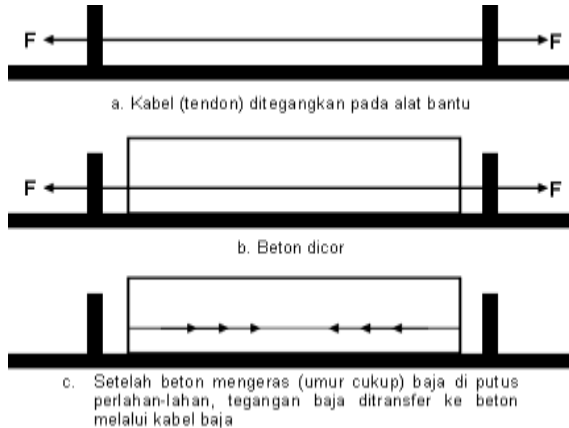
Berdasarkan hal tersebut muncullah pemikiran untuk memberikan lubang pada bagian tengah beton dengan tujuan untuk mengurangi berat sendiri pelat tanpa mengurangi kekuatan lenturnya. Oleh karena itu pula konsep ini mulai diterapkan pada komponen struktur yang secara dominan menahan tegangan lenturnya. Dalam penelitiannya, Pajari (2005) melakukan validasi kuat geser pada badan (web) penampang HCS prategang terhadap persamaan yang terdapat dalam Eurocode 2 (BS code).

Hasil eksperimen yang dilakukan menunjukkan bahwa perhitungan kapasitas geser dengan Eurocode 2 dan “metode Yang,s” melebihi (overestimate) merata nilai kapasitas geser dari seluruh jenis slabs yang di uji. Di antara keduanya, metode Yang memberikan hasil yang lebih baik untuk spesimen dalam penelitian ini. Di samping itu, dari penelitian ini diketahui pula bahwa selisih antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen bervariasi menurut ketebalan dan bentuk lubangnya. Selisih yang lebih besar cenderung terjadi pada slab yang lebih tipis.

2.2.3 Konsep Prategang

Metode perencanaan beton pratekan terdiri dari dua prinsip yaitu sebagai berikut :

1. Prategang (*Pre-tensioning*)



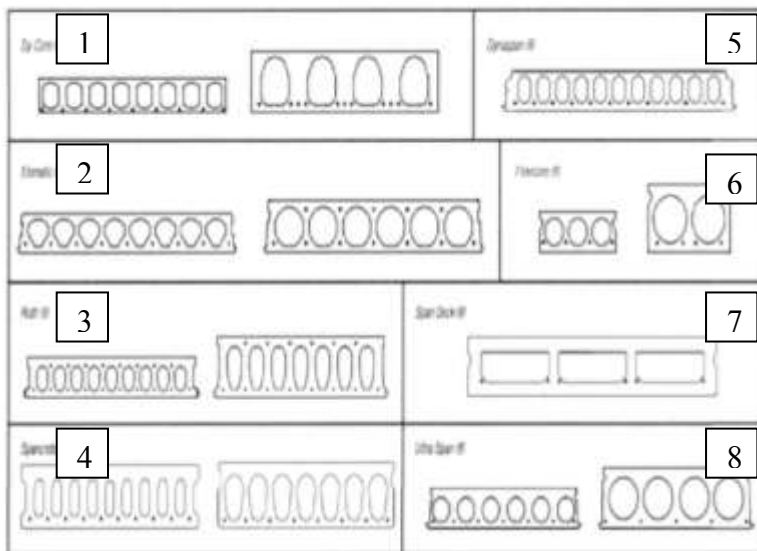
Gambar 2.4 Sistem Pre-tensioning (*sumber : diktat beton prategang*)

2. Pascategang (*Post-tensioning*)



Gambar 2.5 Sistem Post-tensioning (*sumber : diktat beton prategang*)

Hollow Core Slabs (HCS) prategang termasuk dalam jenis *pretension* yaitu baja diberikan gaya prategang terlebih dahulu sebelum dicor dengan beton. Dalam tugas akhir ini akan didesain pelat hollow core slabs dengan rongga bulat dan persegi di implementasikan pada struktur gedung bangunan rumah sakit.

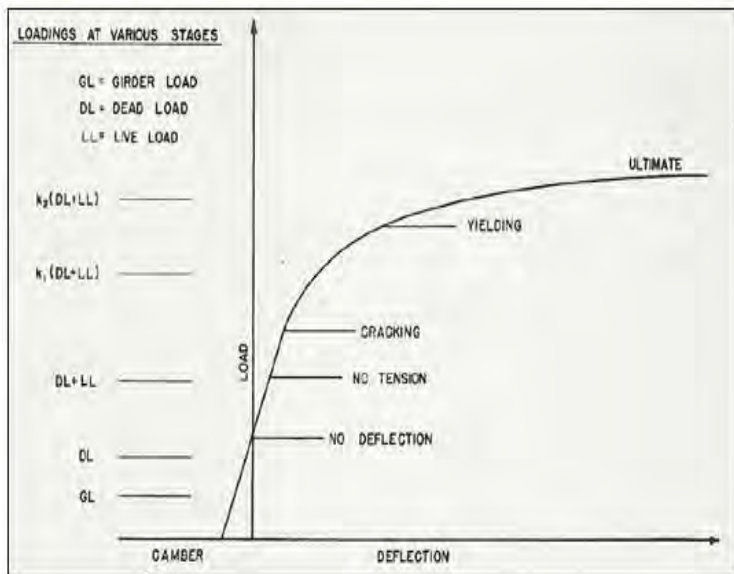


Gambar 2.6 Tipe rongga pelat hcs

2.2.4 Perilaku balok/pelat satu arah prategang akibat lentur

Secara umum perilaku balok/pelat prategang akibat lentur dibedakan menjadi 5 yaitu :

1. Tidak berdefleksi (*no defelection*), jika kondisi tegangan persegi (merata) di setiap irisan penampang.
2. Tidak tarik (*no tension*), jika kondisi tegangan segitiga dengan tegangan nol pada tepi bawah penampang.
3. Retak (*cracking*), jika tegangan pada tepi bawah mencapai modulus retak bahan.
4. Leleh (*yeilding*), jika baja telah mencapai titik lelehnya.
5. Ultimate, yaitu menggambarkan kondisi saat runtuh.



Gambar 2.7 Perilaku balok/pelat prategang akibat lentur

2.2.5 Keuntungan dari sistem pelat (HCS)

- a. Diproduksi dengan mesin di pabrik, bentuk potongan memanjang sesuai dengan konstruksi yang akan dibuat dan disimpan berdasarkan jadwal konstruksi sehingga siap untuk dikirim ke proyek.



Gambar 2.8 Workshop produksi pelat precast hcs

- b. Kecepatan pemasangan , karena pelat telah diproduksi dalam bentuk precast sehingga mengurangi waktu konstruksi.

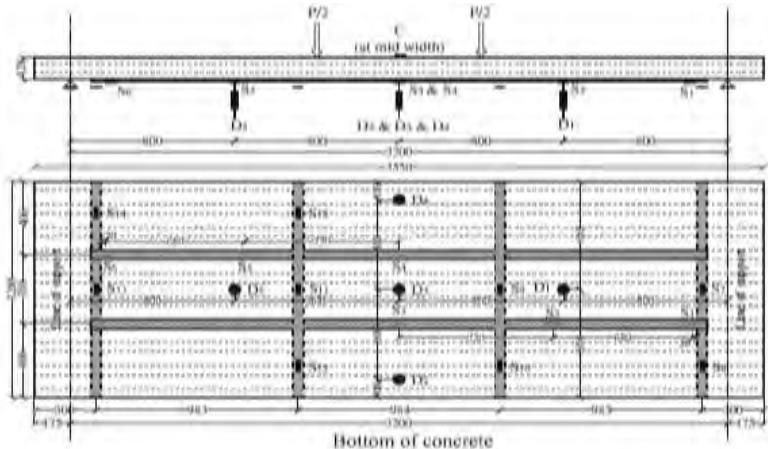


Gambar 2.9 Konstruksi gedung dengan pelat hcs

- c. Mengurangi perancah atau penyangga, sistem pelat HCS tidak memerlukan banyak penyangga selama konstruksi berlangsung.
- d. Efisien dan penampang ringan, lubang pada pelat hollow core akibat prategang akan mengurangi beban mati dan berat sendiri tanpa mengurangi kekuatannya. Ketebalan dari pelat dan pola kabel wire dapat divariasikan pada harga minimum yang cocok untuk bentang dan bebannya.
- e. Bentang panjang, pelat hollow core dapat dibuat untuk bentang panjang.

2.2.6 Model pembebanan hollow core slabs (HCS)

F.Elghabbas, dkk (2010), dalam penelitiannya melakukan pengujian lentur pelat hollow core slabs precast (hcs) prategang dengan perkuatan lapisan CFRP. Hasil test lentur menunjukkan bahwa usulan modifikasi mampu mereduksi keretakan (*Cracking*) sampai 12,5% daripada hcs tanpa pengaku CFRP dan mereduksi gaya geser pada pelat hollow core slabs (HCS) prategang.



Gambar 2.10 Bentuk pengujian eksperimental (F.Elghabbas, dkk)

Cara pengujian kuat lentur pada pengujian tersebut di atas adalah dipes dengan beban *monotonic* sebesar 10 kN pada awal pembebanan kemudian beban dinaikan secara bertahap sampai terjadi kegagalan dengan menggunakan dua titik pembebanan pada tengah bentang. Hasil pengujian seperti dapat dilihat pada gambar dan analisa hasilnya dibandingkan dengan analisa perhitungan numerik.



(a) Flexural failure of slab (S)



(b) CFRP rupture of slab (S-NSM-2C25)

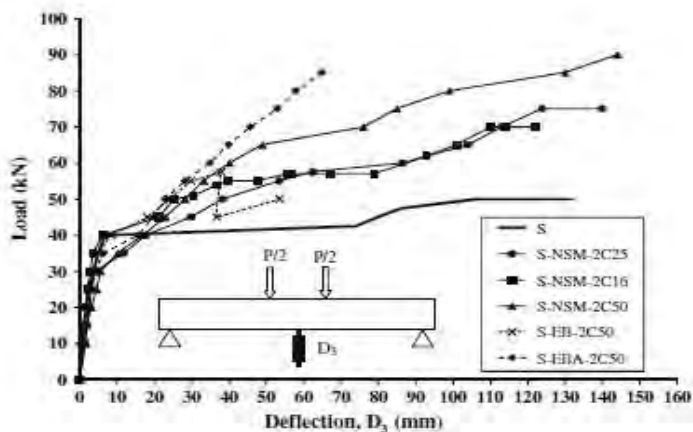


Gambar 2. 11 Pola keretakan karena lentur pada HCS
(F.Elghabbas, dkk, 2010)

Slab's capacities and modes of failure.

Slab code	CFRP laminates		Strengthening system	P_c (kN)	P_u (kN)	Δ_{u2} (mm)	Failure mode	Capacity enhancement (%)
	No.	Area (mm ²)						
S	None	None	-	40.0	50.0	132.0	Flexural	-
S-NSM-2C25	2-strips	60	NSM	35.0	75.0	140.0	CFRP rupture	50.0
S-NSM-2C16	2-strips	64	NSM	35.0	70.0	122.0	Shear-tension	40.0
S-NSM-2C50	2-strips	120	NSM	35.0	90.0	144.0	Shear-tension	60.0
S-EB-2C50	2-strips	120	EB	40.0	57.5	53.5	De-bonding	15.0
S-EBA-2C50	2-strips	120	Reinforced EB	40.0	85.0	150.0	De-bonding	70.0

Tabel 2.1 Nilai displacement dari pengujian
lentur(F.Elghabbas, dkk, 2010)

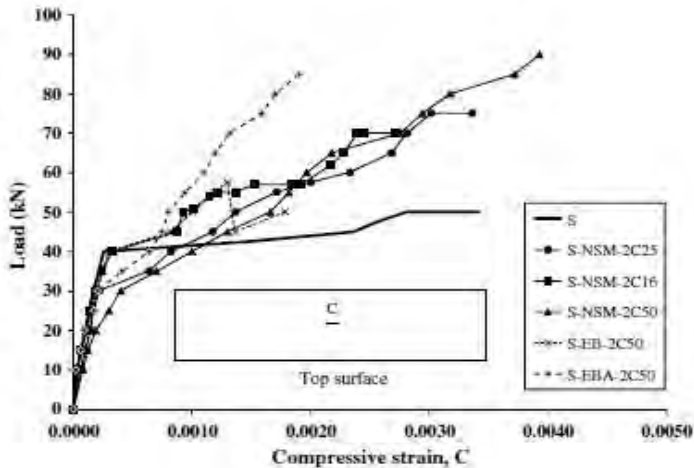


Gambar 2. 12 Grafik beban vs lendutan (F.Elghabbas, dkk, 2010)

Comparison between predicted and test results.

Specimen code	Analytical prediction						Experimental result			$\frac{P_{max}}{P_{Exp}}$	$\frac{P_{ult}}{P_{Exp}}$	
	P_1 (kN)	P_2 (kN)	P_3 (kN)	P_4 (kN)	P_5 (kN)	Failure mode	P_7 (kN)	P_8 (kN)	Mode of failure			
S	34.4	43.5	–	–	73.0	43.5	Flexural failure	40.0	50.0	Flexural	1.163	1.150
S-NSM-2C25	34.4	–	66.1	–	73.0	66.1	CFRP rupture	35.0	75.0	CFRP rupture	1.017	1.135
S-NSM-2C16	34.4	–	63.7	–	73.0	63.7	CFRP rupture	35.0	70.0	Shear-tension	1.017	1.089
S-NSM-2C50	34.4	73.0	–	–	73.0	73.0	Shear failure	35.0	90.0	Shear-tension	1.017	1.233
S-FB-2C50	34.4	90.3	–	56.7	73.0	56.7	De-bonding	40.0	57.5	De-bonding	1.163	1.014
S-EBA-2C50	34.4	90.3	–	56.7	73.0	56.7	De-bonding	40.0	85.0	De-bonding	1.163	1.499

Tabel 2.2 Perbandingan hasil analisis dengan experimental (F.Elghabbas, dkk, 2010)



Gambar 2. 13 Grafik tegangan lentur tekan (F.Elgabbas, dkk, 2010)

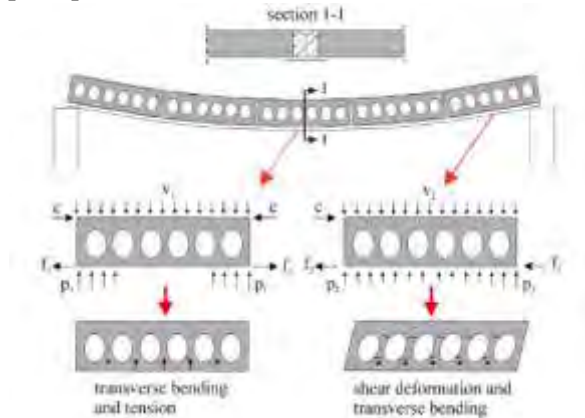
2.3 Penelitiannya Sebelumnya

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian tentang *Hollow Core Slabs* (HCS), beberapa penelitian menunjukkan pelat precast *Hollow Core Slabs* (HCS) adalah pelat berongga yang mempunyai rongga menerus sehingga mengurangi berat sendiri pelat. Dan menggunakan material beton dan baja mutu tinggi. Beberapa penelitian tersebut antara lain sebagai berikut :

a. Hegger, Roggendorf, dan Kerkeni (2008)

Dalam studi experimentalnya melakukan penelitian terhadap kapasitas gaya geser hollow core slabs prategang pada struktur pelat yang mempunyai penampang yang tipis. Dalam penelitiannya mereka membuat pengaku pada pelat hollow core slabs dengan balok baja IFB untuk mengurangi tegangan geser yang terjadi. Diaplikasikan pada pelat dengan penampang yang tipis. Pada pengarahannya percobaan pertama

yaitu menganalisa perilaku menahan beban pada pelat hollow core slabs yang di topang oleh balok baja IFB dengan $I_y = 35400 \text{ cm}^4$ dan $I_x = 74200 \text{ cm}^4$ dan disebut struktur pelat ramping/tipis. Dalam penelitiannya dijelaskan empat macam percobaan pada dua variabel tipe pelat tipe MV5/265 dan VMM-VSD 25 dan mengacu pada permodelan single plat dengan perletakan sendi. Dari penelitian tersebut kekuatan gaya geser dibandingkan dengan prediksi kegagalan menahan beban pada peraturan internasional. Sehingga dapat digunakan sebagai rekomendasi mengenai desain fleksibel support berupa balok baja IFB untuk mereduksi tegangan geser pada pelat hcs.



Gambar 2.14 Tegangan pada hollow core slabs dengan pengaku balok baja(Hegger, dkk : 2008)

Hasil penelitian Hegger, Roggendorf, dan Kerkeni (2008) diantaranya sebagai berikut :

1. Dengan adanya fleksibel support mampu mengurangi tegangan geser yang terjadi pada hollow core slabs sebesar 60% - 70 % ketika pelat di kekang oleh fleksibel support kecuali IFB untuk penampang beton yang sudah sangat kaku. Di rumuskan sebagai berikut $V \leq 0,5 VRd$

2. Tabel 2.3 Ringkasan Hasil Test Uji Experimental HCS di dapat tegangan geser dan displacement(Hegger,dkk:2008)

Test no.	Slab type	Shear strength on rigid supports V_u (kN/m)	Shear strength on flexible supports $V_{u,s}$ (kN/m)	$V_{u,s}/V_u$ (%)	Max. displacement at F _u (mm)
1-a	MV5.265	239	180 ^a	75	57.5 ((194) ^a
1-b			158 ^a	66	56.2 ((197)
2-a	VMA-V37.25	265	162	61	31.4 ((131)
2-b			162		34.8 ((172) ^c
3-a	MV5.265	268	182 ^a	68	31.5 ((190)
3-b					
4-a	VMA-V37.25	282	168 ^a	60	29.1 ((106)
4-b					

^a Including 4.6 mm deflection after unloading the first test run (Failure in span 1-b).

^b Including 2.6 mm deflection after unloading the first test run (Failure in span 2-a).

^c Failure of edge slabs in both spans occurred simultaneously.

3. Berdasarkan hasil tes, terjadi defleksi/lendutan pada batas $l/300$ pada saat beban mati dan beban hidup telah bekerja.
4. Berdasarkan hasil eksperimental uji beban, mengindikasikan pengisian cor pada sambungan hcs tidak meningkatkan kemampuan menahan gaya geser.
5. Finite Element analisis lebih lanjut dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan gaya geser sebagai pembanding dengan hasil uji eksperimental.

b. Hawkins dan Ghosh (2006)

Dalam penelitiannya menjelaskan bahwa komponen beton bertulang yang menahan lentur tanpa tulangan geser akan mengalami kegagalan geser pada beban yang kurang dari nilai yang diperkirakan dalam ACI 318-05. Oleh karena itu, kemudian ditetapkan bahwa apabila $V_u > 0,5 \phi V_c$ maka diperlukan tulangan geser minimum. Pernyataan tersebut

tidak berlaku secara efektif pada slab, termasuk hcs. Karena tebal pelat pada umumnya tidak cukup besar seperti balok. Hasil studi eksperimentalnya yaitu :

1. Pada percobaan kuat geser pelat satu arah hcs dengan ketebalan kurang dari 300 mm di dapat bahwa *web shear strength* dari ACI 318-05 lebih rendah dibandingkan dengan hasil uji eksperimental
2. Tabel 2.4 Ringkasan hasil test uji experimental HCS *web-shear cracking test* (Hawkins : 2006)

Supplier	No. of Tests	h (in.)	A_{pr} (in. ²)	b_w (in.)	d_p (in.)	f_c (ksi)	f_{st} (psi)	No. of V_{cr} Failures	V_{act}/V_{cr} Avg.	Range
A	6	15	1.224	15.27	14	6*	175	6	0.76	0.61–0.83
A	6	16	1.53	15.93	15	6*	175	6	0.58	0.53–0.64
B	8	16	1.786	11.23	13.75	8–10	189	8	0.85	0.74–1.02
C	3	12.5	1.683	8.5	10.75	10	189	2 ¹	1.47	1.46, 1.48
C	5	14.5	1.224	8.5	12.75	11	189	0 ¹		1.27–1.61

*Specified strength; actual strength not measured.

¹Remaining failure due to strand slip at shear of 1.46 V_{cr} and before web-shear cracking.

¹All five failures due to strand slip before web-shear cracking.

Note: All strands were 0.5-in.-diameter 270 ksi, except for the four 0.6-in.-diameter 270 ksi strands used in combination with the eight 0.5-in.-diameter strands by Supplier B and the use of 0.5-in.-diameter 250 ksi strands for the 15-in. product by Supplier A. All units were 4 ft wide. 1 in. = 25.4 mm; 1 ksi = 6.89 MPa; 1 psi = 6.89 kPa.

3. Tegangan geser yang terjadi masih mampu ditahan oleh penampang hcs, sehingga masih di iijinkan hcs tanpa menggunakan tulangan geser.

c. Pisanty (1992)

Dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kekuatan gaya geser dapat menekan pelat precast hollow core slabs prategang. Dari uji test 10 speciemen hcs, 6 benda uji mengalami keruntuhan akibat gaya geser. Kemudian didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Untuk tegangan geser (geser di area luar retak), parameter yang digunakan mendekati kondisi sebenarnya untuk beton yaitu disarankan 55 % dari kekuatan lentur ($f_{ctk \min}$)
2. Untuk mengurangi tegangan geser digunakan faktor reduksi pada perumusannya sebagai berikut :

$$V_{uk} = 0.75 \cdot \frac{I \Sigma b_w}{S} \left(f_{ctk \min}^2 + 0.8 \alpha \sigma N f_{ctk \min} \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

2.4 Material Dasar Hollow Core Slabs

Material dasar penyusun pelat precast hollow core slabs prategang adalah beton mutu tinggi dan baja mutu tinggi. Maka hal itu dikombinasikan antara beton yang mempunyai kuat tekan tinggi dan baja yang mempunyai kuat tarik yang tinggi untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang komposit.

2.4.1 Beton

Beton mempunyai perbandingan terbalik antara kuat tekan dan kuat tariknya. Beton mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi tetapi sangat lemah dalam kuat tariknya. Nilai kuat tariknya hanya berkisar antara 9%-15% saja dari kuat tekannya. Sedangkan baja mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi. Nilai dari kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 atau Mpa. Kuat tekan beton berumur 28 hari berkisar antara nilai $\pm 10 - 65$ Mpa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 -30 Mpa.

Pada struktur beton pratekan diharuskan pemakaian beton mutu tinggi karena beberapa alasan, diantaranya adalah :

- Dibutuhkan beton mutu lebih tinggi, terutama didaerah angker
- Pada beton mutu lebih tinggi akan didapat kekuatan tarik dan geser lebih tinggi pula, ini sangat cocok untuk kebutuhan prategang
- Beton mutu lebih tinggi dapat mengurangi terjadinya retak akibat susut
- Beton mutu lebih tinggi akan diperoleh E_c lebih besar, rangkai lebih kecil, sehingga dapat memperkecil kehilangan gaya pratekannya.

Kurva tegangan dan regangan merupakan penjabaran dari modulus elastisitas beton. Modulus Elastisitas adalah rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarikatau tekan dibawah batas proporsional material (SNI 2847,2013). Selanjutnya untuk nilai berat jenis (wc) beton diantara 1440 Kg/m³ dan 2560 Kg/m³ nilai modulus elastisitas (E_c) dapat diambil sebesar :

$$E_c = (wc)^{1.5} 0.043 \sqrt{f_c'} \quad (2.2)$$

Apabila data pengujian beton tidak tersedia, FHWA (2006) mendefinisikan persamaan tegangan dan regangan beton pada kondisi tekan sebagai berikut :

$$\frac{f_c}{f_c'} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c'} x \frac{n}{(n-1) + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c'} \right)^{nk}} \quad (2.3)$$

dengan :

$$n = 0.8 + \frac{f_c'}{17} \quad (\text{satuan MPa}) \quad (2.4)$$

$$k = 0.67 + \frac{f'_c}{62} \quad (\text{satuan MPa}) \quad (2.5)$$

$$\epsilon'_c = \frac{f'_c}{E_c} \times \frac{n}{(n-1)} \quad (2.6)$$

dimana :

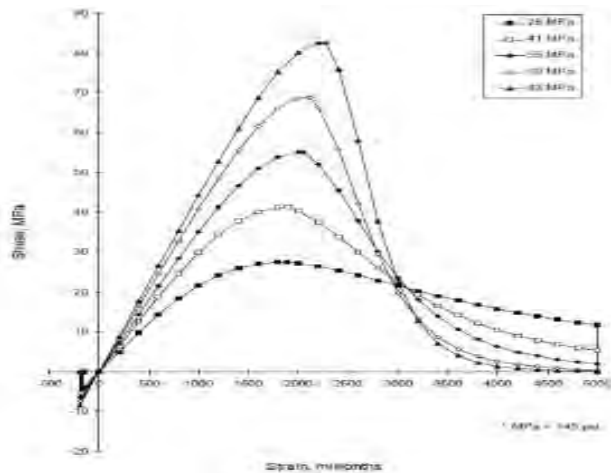
f_c = tegangan tekan

f'_c = kuat tekan beton

ϵ'_c = regangan tekan saat tegangan puncak

ϵ_c = regangan tekan

Dengan pendekatan tersebut mereka mendapatkan kurva tegangan-regangan untuk mutu beton f'_c 28 sampai dengan f'_c 83 yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.15 Grafik tegangan-regangan beton

2.4.2 Baja

Baja mutu tinggi merupakan bahan yang digunakan untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Baja mutu tinggi untuk sistem prategang biasanya merupakan salah satu dari ketiga

bentuk kawat (wire), untaian kawat (strand) dan batang (bar). Berikut macam-macam baja yang digunakan dalam struktur beton prategang :



Gambar 2.16 Berbagai tipe baja prategang

Dalam permodelan HCS ini akan digunakan kabel prategang tipe wire dengan diameter 6 mm. Dengan mutu baja 1770 MPa seperti tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.5 Mutu baja wire (arcelor mittal product)

Wire EN 10138 – BS 5896							
Nominal diameter	Tensile strength	Mass	Cross sectional area	Tolerance on mass	Minimum breaking strength	Maximum breaking strength	Yield strength at 0.1 % elongation
mm	MPa	g/m	mm ²	%	kN	kN	kN
4	1660	36.4	12.6	±2	23.4	26.4	20.8
5	1660	45.1	19.6	±2	36.5	42.0	32.5
6	1770	72.0	28.3	±2	50.1	57.6	44.1
7	1770	100.7	38.5	±2	66.1	76.1	58.9
8	1670	130.8	50.3	±2	84.0	96.6	73.9

2.5 Analisa Elemen Struktur

Daryl L. Logam (2007) mendefinisikan Finite Element adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik. Masalah khas yang menarik di bidang teknik yang dapat dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi struktural analisis, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massal, dan potensi elektromagnetik.

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan baik struktural maupun nonstruktural diantaranya sebagai berikut :

1. Analisa tegangan, diantaranya pada trus (rangka batang) dan frame (portal), dan konsentrasi tegangan akibat adanya lubang
2. Tekuk
3. Analisa Getaran

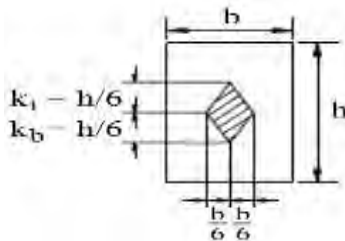
Suatu elemen sederhana dapat kita selesaikan dengan menggunakan analisa matriks dengan persamaan dasar seperti di atas, akan tetapi untuk melakukan perhitungan dengan ketelitian yang besar di butuhkan alat bantu software sehingga perhitungan dapat lebih muda. Salah satu software finite elemnt tersebut adalah Abaqus. Software tersebut memiliki kemampuan sebagai berikut :

1. Dapat menganalisa dengan bentuk 2 (dua) dimensi maupun 3 (dimensi)
2. Dapat menganalisa secara statis maupun dinamis
3. Memiliki beberapa tipe pembebanan, diantaranya beban terpusat, beban merata, beban thermal, dan penurunan.
4. Memiliki data propertis dari struktur yang dibuat seperti modes, elemen, dan restrains.
5. Dapat menghasilkan gambar kontur tegangan dan juga bentuk deformasi yang terjadi.

2.6 Daerah *KERN* (Inti Beton Prategang)

Daerah pemasangan kabel pada balok pratekan pracetak komposit pascatarik ini diberi batasan sehingga pusat gaya tekan (C) dalam distribusi momen berada dalam daerah inti (*kern*), sehingga tidak terjadi tegangan tarik pada balok baik oleh momen total maupun momen gelagar

Gaya pratekan dalam suatu penampang apabila letaknya berada dalam *kern* sentral, maka tidak akan terjadi tegangan tarik pada seluruh penampang. Daerah *kern* sentral untuk penampang persegi seperti pada Gambar 2.17, dengan k_t dan k_b sebagai batas *kern* atas dan bawah



Gambar 2.17 Daerah *kern* beton prategang

Tendon lurus banyak digunakan pada balok pracetak dengan bentang sedang, sedangkan penggunaan tendon lengkung lebih umum digunakan pada elemen pascatarik yang dicor di tempat. Tendon yang tidak lurus ada dua jenis:

- a. Draped: mempunyai alinemen lengkung secara gradual seperti bentuk parabolik
- b. Harped: tendon miring dengan diskontinuitas alinemen dibidang-bidang dimana terdapat beban terpusat

Kern batas merupakan suatu daerah dari penampang, di mana suatu gaya aksial tekan tertentu dapat ditempatkan dan tegangan-tegangan yang terjadi tidak melampaui tegangan tekan. Teras dari bentuk penampang selain persegi (penampang I) dapat ditentukan dengan menghitung *kern* atas (k_t) dan *kern* bawah (k_b) sebagai berikut :

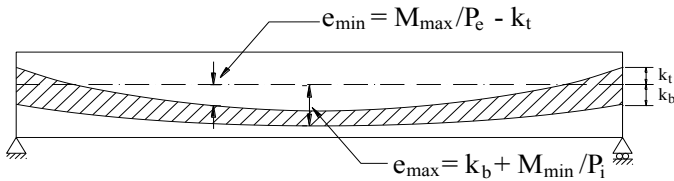
$$k_t = \frac{S_b}{A_{cp}} \quad \text{dan} \quad k_b = \frac{S_t}{A_{cp}} \quad (2.7)$$

Batas atas dan batas bawah kabel dengan memperbolehkan atau tidak memperbolehkan terjadinya tegangan tarik diuraikan sebagai berikut ini

- a. Tegangan tarik tidak boleh terjadi

Apabila digunakan batasan bahwa beton tidak mengalami tegangan tarik (seluruh penampang terjadi tegangan tekan), maka nilai $f_{t,i}$ maupun $f_{t,s}$ adalah sama dengan nol. Batas atas dan batas bawah ditentukan berdasarkan eksentrisitas minimum (e_{\min}) dan maksimum (e_{\max}) sebagai berikut.

$$e_{\min} = \frac{M_{\max}}{P_e} - k_t \quad \text{dan} \quad e_{\max} = k_b + \frac{M_{\min}}{P_i} \quad (2.8)$$



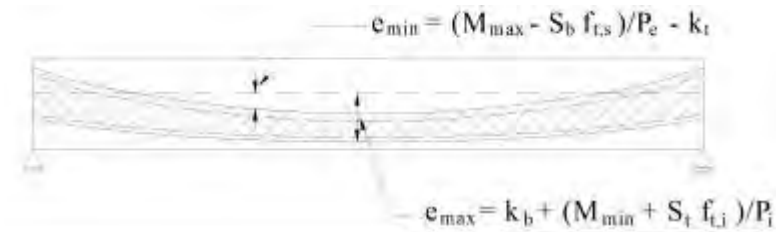
Gambar 2.18 Nilai e_{min} dan e_{min} pada penampang balok/pelat

b. Tegangan tarik boleh terjadi

Batas atas dan batas bawah ditentukan berdasarkan eksentrisitas minimum (e_{min}) dan maksimum (e_{maks}) sebagai berikut

$$e_{min} = \frac{M_{maks} - S_b f_{t,s}}{P_e} - k_t \quad \text{dan} \quad e_{maks} = k_b + \frac{M_{min} + S_t f_{t,i}}{P_i} \quad (2.8)$$

Jika c.g.s. jatuh di atas batas atas pada setiap titik, maka daerah-C yang bersesuaian dengan momen M_{maks} (momen akibat beban kerja total) dan gaya prategang P_e akan jatuh di atas *kern* atas, menimbulkan tegangan tarik pada serat bawah. Dan apabila c.g.s. diletakkan di atas batas bawah, maka daerah-C akan berada di atas *kern* bawah dan tidak akan terjadi tegangan tarik pada serat atas akibat beban gelagar (M_{min}) dan gaya prategang awal P_i .

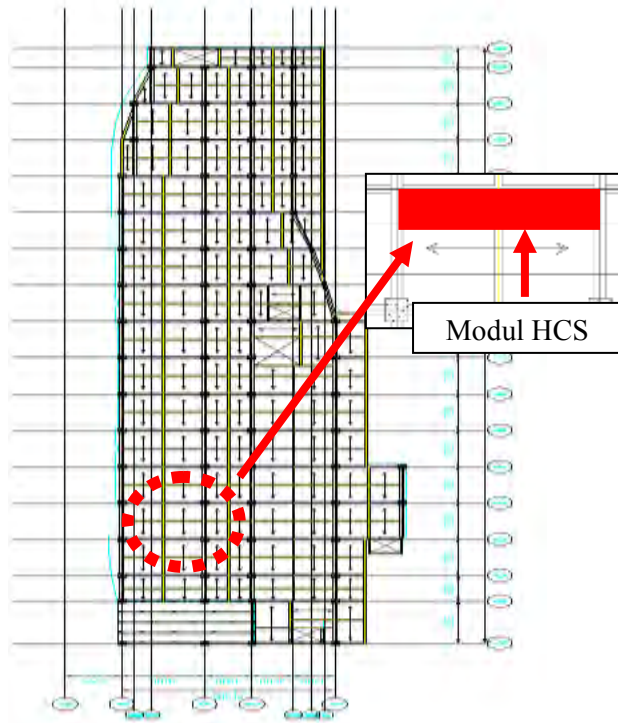


Gambar 2.19 Daerah batas cgs yang memperbolehkan teg. tarik pada beton

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

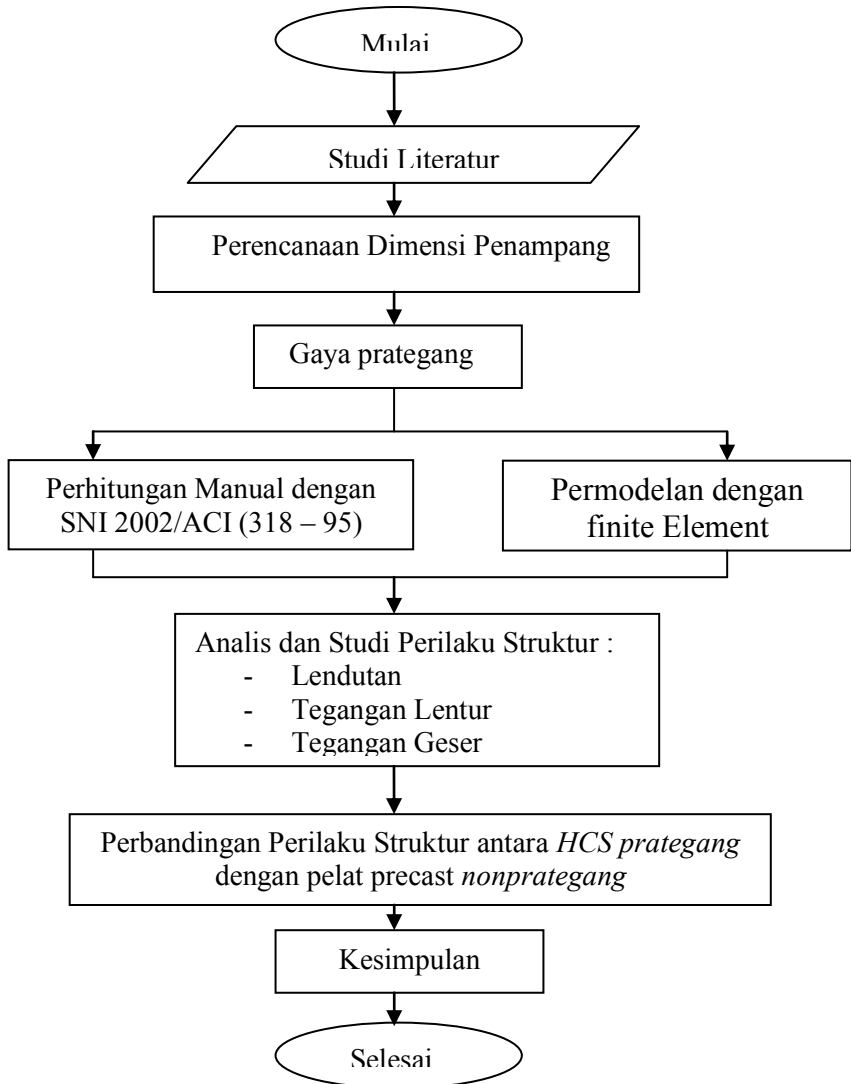
Metodologi ini akan membahas sistematika perhitungan dan metode yang akan digunakan dalam penyelesaian Pemodelan Struktur *Hollow Core Slabs (HCS) Prategang* dengan permodelan pelat satu arah pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pelabuhan Surabaya dengan bantuan *software finite element*.



Gambar 3.1 Gambar denah pelat lantai yang dianalisa

3.2 Flow Chart

Diagram Alur penulisan tugas akhir dijelaskan seperti bambar di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Metodologi Perencanaan HCS

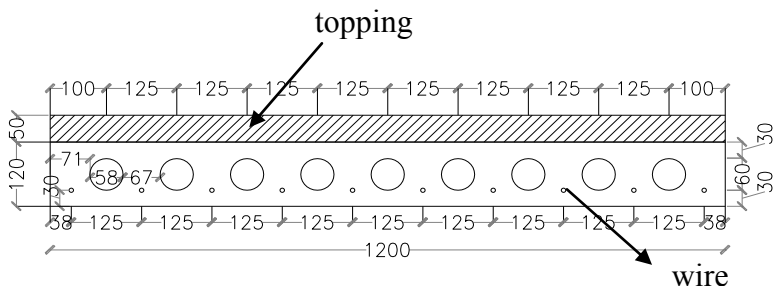
3.3 Perencanaan Dimensi Penampang

3.2.1 Pengumpulan Data

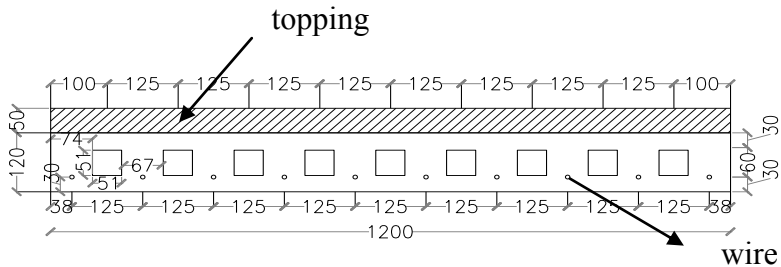
Data-data yang diperlukan dalam permodelan pelat HCS adalah sebagai berikut :

Data-data umum dari gedung adalah :

- a. Nama Gedung : RS Pelabuhan Surabaya
- b. Fungsi : Rumah Sakit
- c. Jumlah lantai : 6 lantai
- d. Struktur utama : Struktur beton
- e. Tinggi Bangunan : 22 m
- f. Lantai per lantai : 4,5 m
- g. Rencana Pelat : Precast HCS prategang dan Precast HCS non-prategang
- h. Tebal Pelat : 120 mm
- i. Tebal topping : 50 mm
- j. Panjang Pelat : 7200 mm
- k. Lebar Pelat : 1200 mm
- l. Diameter wire : 6 mm ($f_{pu} = 1770$ MPa)
- m. Tipe : ultra span (rongga bulat)
span deck (rongga persegi)



Gambar 3.3 Gambar penampang hcs tipe rongga bulat



Gambar 3.4 Gambar penampang hcs tipe rongga persegi

3.2.2 Perencanaan Beton

Melakukan pemilihan terhadap jenis beton prategang yang akan digunakan dalam perencanaan, meliputi :

- Pada perencanaan ini dipilih precast pelat hollow core slabs dengan topping beton $t = 50 \text{ mm}$
- Pada perencanaan beton prategang dipilih dengan adanya *grouting*, karena lebih menyatunya antara baja dan beton, dan juga mengurangi kehilangan prategang.
- Mutu beton minimal yang digunakan K-400, karena saat release mutu beton yg disyaratkan adalah K-300. Jadi cukup 16 jam untuk mencapai umur K-400 dengan steam curing.

Tabel 3.1 Tabel konversi mutu beton

Mutu Beton K-	f_c' (Kg/ cm ²)	f_c' (Mpa)
400	317.9	31.2
450	357.1	35.0
500	398.0	39.0
600	478.2	46.9

Sesuai dengan SNI 2002/ ACI pasal 10.5.1 digunakan rumus modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$Ec = 0,043 \cdot wc^{1,50} \cdot \sqrt{fc'} \quad (3.1)$$

Dimana, Ec = modulus elastisitas beton tekan (Mpa)

wc = berat isi beton (kg/m^3)

fc' = kuat tekan beton (Mpa) atau N/mm^2

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 dan 2500 kgf/m^3 . Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi $\pm 23 \text{ kN/m}^3$ dapat digunakan nilai :

$$Ec = 4.700 \sqrt{fc'} \quad (3.2)$$

Tabel 3.2 Tabel Nilai modulus elastisitas beton (Ec)
berbagai mutu beton

fc' (Mpa)	Ec (Mpa)
31.2	26252
35.0	27806
39.0	29351
46.9	32187

Pada umumnya nilai kuat maksimum untuk mutu beton tertentu akan berkurang pada tingkat pembebanan yang lebih lamban atau *slower rates of strain*. Nilai kuat beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat beton ditentukan pada beton waktu mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 7 hari kuat beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% - 90% dari kuat beton umur 28 hari. Pada kondisi

pembebanan tekan tertentu beton menunjukkan suatu fenomena yang disebut rangkak (*creep*).

Sebelum kita melakukan pemodelan dengan bantuan *software finite element*, maka kita harus mendefinisikan material sedetail mungkin yang mencerminkan kondisi di lapangan. Material Beton yang digunakan menggunakan konsep *Concrete Damaged Plasticity* (CDP) dengan mengacu jurnal pada penelitian sejenis. P. Kmiecik dan M.Kaminski (2011) mendefinisikan parameter *plasticity* pada tabel berikut :

Tabel 3.3 Parameter Plasticity

Dilation Angle	Eccentricity	F_{b0}/f_{c0}	K	Viscosity Parameter
36	0.1	1.16	0.6667	0

Saat kondisi plastis beton mengalami kondisi tertekan dan tertarik, sehingga diperlukan parameter tegangan dan regangan beton saat kondisi tekan dan kondisi tarik. Adapun untuk mendapatkan nilai tegangan tersebut kita dapat menggunakan persamaan pada BAB II.

Dengan menetapkan angka regangan, kita akan mendapatkan tegangan dari kondisi elastis sampai dengan kondisi plastis. Adapun tegangan beton untuk salah satu mutu beton tertuang pada tabel sebagai berikut :

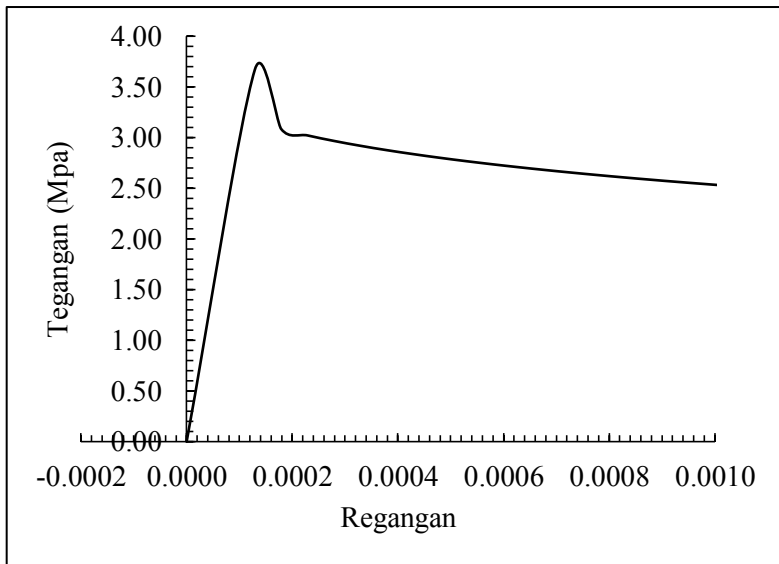
Tabel 3.4 Tegangan dan regangan mutu beton K-400

Kondisi Tarik

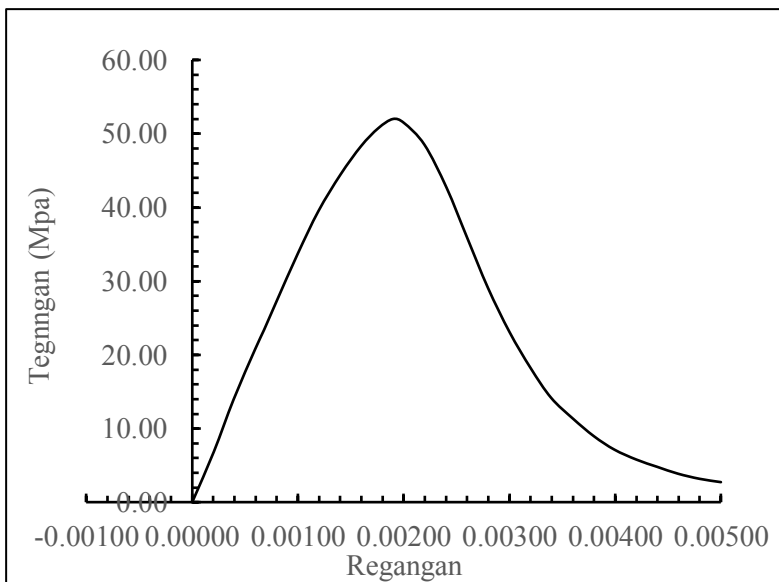
Tegangan Mpa	Regangan	Regangan Inelastik
0.00	0.0000	
3.46	0.0001	0.00000
2.92	0.0002	0.00005
2.86	0.0002	0.00010
2.81	0.0003	0.00015
2.76	0.0003	0.00020
2.72	0.0004	0.00025
2.68	0.0004	0.00030
2.65	0.0005	0.00035
2.62	0.0005	0.00040
2.59	0.0006	0.00045
2.56	0.0006	0.00050
2.53	0.0007	0.00055
2.51	0.0007	0.00060
2.49	0.0008	0.00065
2.46	0.0008	0.00070
2.44	0.0009	0.00075
2.42	0.0009	0.00080
2.40	0.0010	0.00085
2.38	0.0010	0.00090
2.37	0.0011	0.00095
2.35	0.0011	0.00100

Kondisi Tekan

Tegangan Mpa	Regangan	Regangan Inelastik
0.00	0.00000	
6.87	0.00021	
13.92	0.00039	
20.77	0.00060	
14.04	0.00068	0.00000
27.44	0.00080	0.00012
33.74	0.00100	0.00032
39.51	0.00119	0.00051
44.48	0.00140	0.00072
48.32	0.00160	0.00092
50.75	0.00176	0.00108
52.00	0.00190	0.00122
51.48	0.00200	0.00132
48.51	0.00220	0.00152
42.69	0.00241	0.00173
35.96	0.00260	0.00192
29.09	0.00280	0.00212
23.09	0.00300	0.00232
18.20	0.00320	0.00252
14.18	0.00339	0.00271
11.34	0.00360	0.00292
8.97	0.00380	0.00312



Gambar 3.5 Grafik tegangan – regangan kondisi tarik beton mutu K-400



Gambar 3.6 Grafik tegangan – regangan kondisi tekan beton mutu K-400

Dalam tugas akhir ini model pelat hcs dibuat dengan ketebalan pelat 120 mm. Kemudian model tersebut dibuat beberapa tipe dari mutu beton dan lebar pelat pracetak yang terangkum pada tabel 3.5 sebagai berikut :

Tabel 3.5 Tipe permodelan pelat

No.	Nama Pelat	Tipe Rongga	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
1	<i>HCS 1 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Prategang</i>
2	<i>HCS 2 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-450	<i>Prategang</i>
3	<i>HCS 3 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-500	<i>Prategang</i>
4	<i>HCS 4 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-600	<i>Prategang</i>
5	HCS 1A - CIR	bulat	5000 mm x 2300 mm	K-400	<i>Prategang</i>
6	HCS 2A - CIR	bulat	5000 mm x 2300 mm	K-450	<i>Prategang</i>
7	HCS 3A - CIR	bulat	5000 mm x 2300 mm	K-500	<i>Prategang</i>
8	<i>HCS 1 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Prategang</i>
9	<i>HCS 2 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-450	<i>Prategang</i>
10	<i>HCS 3 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-500	<i>Prategang</i>
11	<i>HCS 4 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-600	<i>Prategang</i>
12	HCS 1A - SQ	persegi	5000 mm x 2300 mm	K-400	<i>Prategang</i>
13	HCS 2A - SQ	persegi	5000 mm x 2300 mm	K-450	<i>Prategang</i>
14	HCS 3A - SQ	persegi	5000 mm x 2300 mm	K-500	<i>Prategang</i>
15	<i>HCS 1 - NON</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Non - Prategang</i>
16	<i>HCS 2 - NON</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Non - Prategang</i>

3.2.3 Perencanaan Baja

Baja direncanakan (prestressed low relaxation) seperti pada tabel 2.3 yang dijelaskan pada BAB II :

- wire : 6 mm
- mutu wire (f_{pu}) : 1770 Mpa

Baja non-prategang :

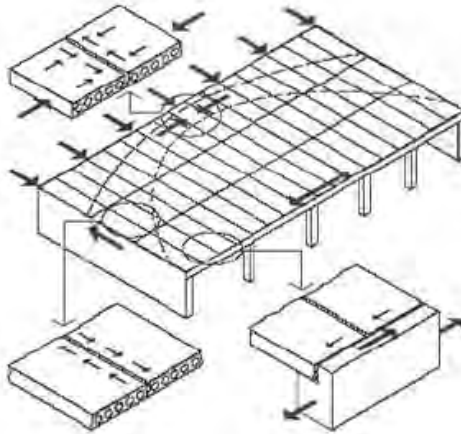
- mutu baja : BJ 37
- f_y : 240 Mpa , $f_u = 370$ Mpa
- d. Tulangan : \varnothing 6 mm
- E : 2×10^5 MPa

3.2.4 Gaya Prategang

Pada struktur beton prategang, terdapat tahapan - tahapan pembebanan yang mana penting untuk diperhatikan / dikontrol tegangan dan kemampuan serviceability di setiap tahapannya. Berikut adalah tahapan - tahapannya :

- a. Tahap Awal
 - tahapan sebelum diberi gaya prategang
 - saat diberi gaya prategang
 - saat transfer gaya prategang
 - saat desentering dan penarikan kembali
- b. Tahap Antara
 - handling
 - transporting
- c. Tahap Akhir (service)

Merupakan tahapan dimana beban mati tambahan dan beban hidup telah bekerja pada struktur.



Gambar 3.7 Gaya-gaya yang bekerja pada pelat hollow core slabs

3.2.5 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang terjadi pada saat transfer tegangan dan secara menerus menurut fungsi waktu. Dilakukan perhitungan agar didapatkan nilai prategang efektif. Perhitungan kehilangan gaya prategang meliputi :

- a. Kehilangan Gaya Prategang Akibat perpendekan elastis beton (*Elastic Shortening Of Concrete*)

untuk tendon yang lebih dari satu maka kehilangan akibat perpendekan elastis dapat dihitung sebagai berikut:

$$ES = K_{es} \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir} \quad (3-3)$$

dengan nilai f_{cir} sebagai berikut

$$f_{cir} = K_{cir} \left(\frac{P_i}{A} + \frac{P_i e^2}{I} \right) - \frac{M_g e}{I} \quad (3-4)$$

$K_{es} = 1,0$ (untuk komponen struktur pratarik)

$K_{cir} = 0,9$ (untuk komponen struktur pratarik)

Keterangan :

f_{cir} : Tegangan beton pada garis berat baja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton

P_i : Gaya akibat tarikan tendon

e : Eksentrisitas Tendon

M_g : Momen akibat berat sendiri beton

A : Luas penampang pelat

E_s : Modulus elastisitas tendon prategang

b. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton (*Creep Of Concrete*)

Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut :

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds}) \quad (3-5)$$

dimana,

$K_{cr} = 2,0$ untuk komponen struktur pratarik

$K_{cr} = 1,6$ untuk komponen struktur pascatarik

f_{cir} = gaya yang bekerja pada beton terhadap c.g.c setelah transfer

f_{cds} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

E_s = Modulus elastisitas tendon prategang

E_s = Modulus elastisitas beton yang bersesuaian dengan f'_c

I_c = momen inersia komposit

$$f_{cds} = \frac{M_{sde}}{I} \quad (3-6)$$

- c. Kehilangan Gaya Prategang Akibat susut beton (*Shrinkage Of Concrete*)
Besarnya nilai kehilangan akibat susut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Delta f_{pSH} = 8.2 \times 10^{-6} K_{SH} E_s \left(1 - 0.06 \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH) \quad (3-7)$$

Keterangan :

Δf_{pSH} = Tegangan yang hilang akibat susut

E_s = Modulus elastisitas batang prategang $= 2 \times 10^5$

K_{SH} = Koefisien susut sebesar 1 untuk pre tension dan sesuai Tabel 2.2 untuk post tension

RH = Kelembaban udara relatif sekitar diambil 78%

$\frac{V}{S}$ = Ratio volume-permukaan (dalam satuan centimeter)

Tabel 3.6 Tabel Koefisien Susut Pascatarik (*Post tension*)

Waktu dari akhir perawatan basah hingga pemberian prategang, hari	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{sz}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

Sumber: Prestressed Concrete Institute

Jika perawatan dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 yaitu selama 5 hari setelah pengecoran dan penarikan dilakukan setelah 7 hari dilakukan pengecoran maka nilai sesuai Tabel 2.2 K_{SH} diambil dari akhir perawatan hingga penarikan yaitu dari hari ke 5 hingga ke 7 maka nilai $K_{SH} = 0.8$

d. Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja (*Steel Relaxation*)

Besarnya kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja dituliskan dengan persamaan rumus :

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)] C \quad (3-8)$$

RE = kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

K_{re} = faktor nilai (Mpa)

J dan C = faktor nilai

SH = Total Kehilangan gaya akibat susut

CR = Total kehilangan gaya akibat Creep (Rangkak)

ES = total kehilangan gaya akibat Perpendekan Elastisitas

Karena K_{re} dalam MPa maka K_{re} dikalikan Aps total agar menjadi N ($\text{MPa} = \text{N/mm}^2$) $\text{N/mm}^2 \times \text{mm}^2 = \text{N}$, sehingga :

$$RE = [(K_{re} \cdot A_{ps \text{ total}}) - J(SH + CR + ES)] \times C \quad (3-9)$$

Tabel 3.7 Nilai nilai K_{re} dan J

No.	Tipe Tendon	$K_{re}(\text{Mpa})$	J
1	Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa	138	0,15
2	Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 MPa	128	0,14
3	Kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,13
4	Strand relaksasi-rendah derajat 1860 MPa	35	0,04
5	Kawat relaksasi-rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
6	Kawat relaksasi-rendah derajat 1655 Mpa atau 1620 MPa	30	0,035
7	Batang stress relieved rendah derajat 1000 Mpa atau 1100 MPa	41	0,05

Tabel 3.8 Nilai C

f_{pi}/f_{pu}	Stress relieved strand or wire	Stress-relieved bar or low relaxation strand or wire
0.80		1.28
0.79		1.22
0.78		1.16
0.77		1.11
0.76		1.05
0.75	1.45	1.00
0.74	1.36	0.95
0.73	1.27	0.90
0.72	1.18	0.85
0.71	1.09	0.80
0.70	1.00	0.75
0.69	0.94	0.70
0.68	0.89	0.66
0.67	0.83	0.61
0.66	0.78	0.57
0.65	0.73	0.53
0.64	0.68	0.49
0.63	0.63	0.45
0.62	0.58	0.41
0.61	0.53	0.37
0.60	0.49	0.33

e. Total kehilangan Gaya Prategang

$$Total Loss = ES + CR + SH + RE$$

(3-10)

3.2.6 Kontrol Tegangan

1. Tegangan tarik pada baja prategang, tidak boleh melampaui nilai - nilai berikut

- a. Tegangan ijin akibat gaya penarikan (*jacking*) baja prategang.

$$0.8 f_{pu} \text{ atau } 0.94 f_{py}$$

Diambil yang lebih kecil, tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pembuat kabel atau angkur

- b. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang tegangan ijin tendon memiliki nilai.

$$0.82 f_{py} \text{ tetapi tidak lebih besar dari } 0.74 f_{pu}$$

- c. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan kopel(*couplers*) sesaat setelah penyaluran gaya prategang.

$$0.70 f_{pu}$$

Namun berdasarkan Lin dan Burns pePersan di atas juga berlaku untuk tendon pratarik segera setelah peralihan gaya prategang.

2. Tegangan ijin beton, tidak melampaui nilai - nilai berikut:

- a. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan tergantung waktu).

Tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut:

$$Tekan = 0.6 f'_{ci}$$

Tegangan serat-serat terluar pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana:

$$Tarik = \frac{1}{4} \sqrt{f'_{ci}}$$

- b. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang

tegangan serat-serat terluar dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban tetap:

$$Tekan = 0.45 f'_c$$

tegangan serat-serat terluar dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban total:

$$Tarik = 0.5 \sqrt{f'_c}$$

3.2.7 Kekatan Batas Pelat Prategang

Perhitungan kuat ultimate dari balok prategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847-2013 pasal B.18.8.3 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1.2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar $0.62 \lambda \sqrt{f'_c}$ sehingga didapat $\phi M_n \geq 1.2 M_{Cr}$ dengan nilai $\phi = 0.85$

Kekuatan batas pelat prategang yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut :

$$1,2 M_{Cr} \leq M_u \leq \phi M_n$$

Keterangan :

M_{Cr} = momen retak balok prategang

M_u = momen ultimate balok prategang

ϕM_n = kapasitas penampang balok prategang

Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_{Cr} = \frac{I}{Yb} \left(\frac{P}{A} + \frac{Pe}{Sb} + 0,7\sqrt{f'c} \right) \quad (3-11)$$

Dimana :

Pe = Gaya prategang efektif setelah kehilangan

I = Inertia pelat

e = Eksentrisitas dari cgc

A = Luas penampang pelat

y_b = Garis netral balok

Nilai momen nominal dapat dihitung sebagai berikut:

$$Mn = \phi Aps \cdot fps \cdot \left(dp - \frac{a}{2} \right) \quad (3-12)$$

Dimana :

Aps = Luas penampang

fps = tegangan pada tulangan prategang saat penampang mencapai kuat nominal

dp = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik

a = tinggi blok tegangan

3.2.8 Perhitungan Geser

Besarnya kebutuhan tulangan geser yang diperlukan oleh balok adalah $V_s = V_U - \phi V_C$ dimana V_U adalah gaya geser ultimate yang terjadi sedangkan ϕV_C adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton. Untuk komponen pelat prategang nilai ϕV_C diambil nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw} sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.3

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser (V_{ci})

$$V_{ci} = 0.6 \sqrt{f'_c \cdot b_w \cdot d + Vd + \frac{V_i M_{cr}}{M_{\max}}} \quad (3-13)$$

Dimana:

- V_i : Gaya geser terfaktor akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{\max}
- M_{cr} : Momen yang menyebabkan retak lentur penampang
- M_{\max} : Momen terfaktor maksimum
- V_d : Gaya geser penampang akibat beban mati tidak terfaktor
- d : Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon
- b_w : Lebar penampang balok

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang (V_{cw})

$$V_{cw} = (3.5\sqrt{f'_c} + 0.3fp_c)b_w.d \quad (3-14)$$

Dimana:

f_{pc} : Tegangan tekan pada beton setelah mengalami kehilangan pada titik berat penampang

f_c : Kuat tekan beton yang disyaratkan

d : Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

b_w : Lebar penampang balok

atau

Persamaan pada ACI-318 M -11 3.2 :

$$V_c = (0.05\lambda\sqrt{f'_c} + 4.8\frac{V_u d_p}{M_u})b_w.d \quad (3-15)$$

3.2.9 Kontrol Lendutan

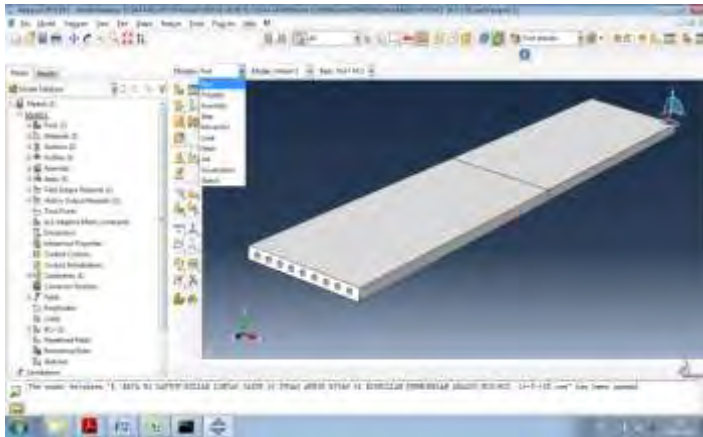
Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton prategang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang disyaratkan.

Lendutan yang bekerja antara lain :

$$\Delta = \frac{Pe\ell^2}{8EI} - \frac{5w\ell^4}{384EI} \quad (3-16)$$

3.2.10 Permodelan dengan program *finite element*

Permodelan pelat HCS dengan program bantu *finite element* dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3.8 Tampilan awal permodelan *finite element*

1. Modul Part

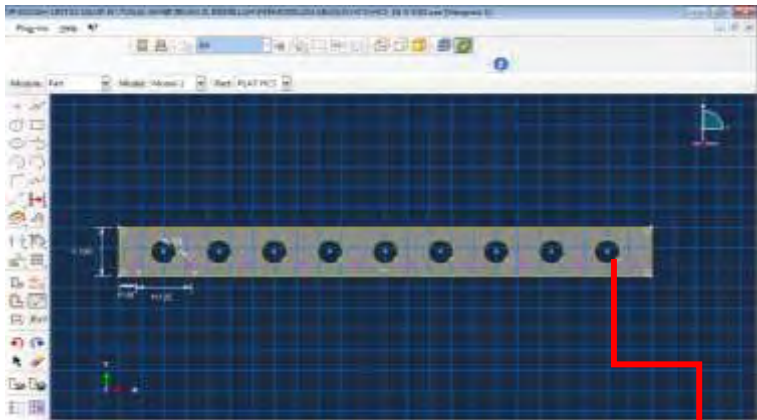
Bentuk geometri pada elemen pelat *hollow core slabs (HCS)* digambarkan pada modul part. Data geometri benda uji adalah sebagai berikut :

- HCS :
 - Panjang bentang : 7200 mm
 - Lebar : 1200 mm
 - Diameter lubang bulat : 58 mm
 - Sisi lubang persegi : 51 mm

- Tebal pelat : 120 mm
- Tebal topping : 50 mm
- Wire : diameter : 6 mm

Model elemen hingga untuk pelat HCS terdiri dari *Solid* dengan tipe standart *eight-node linear hexahedral 3D continuum elements with full integration*.

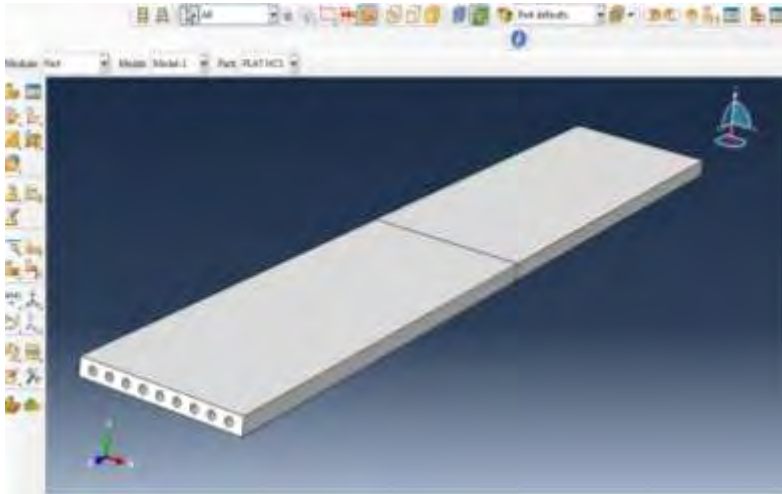
- *Name = Plat HCS*
- *Create part.*
- *Modelling space > 3D.*
- *Type > Deformable.*
- *Base feature, Shape > Solid, Type > Extrusion.*
- *Continue > Create line rectangle*
- *Continue > Create circle*



Gambar 3.9 Tampilan create part hcs

- *Done. > Depth: 7200 > OK.*

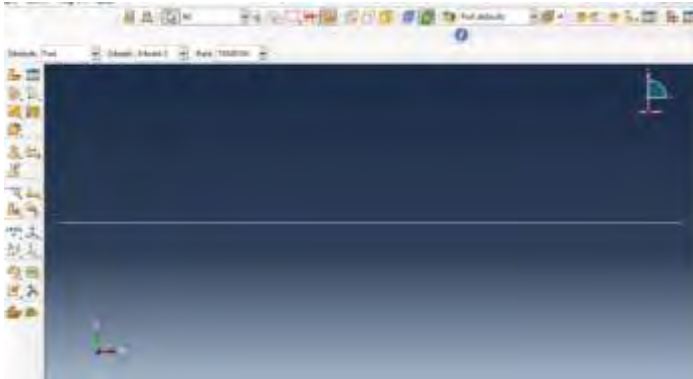
rongga bulat



Gambar 3.10 *Part Plat HCS*

Model tulangan prategang terbuat dari *standard two-node 3D truss elements*. Panjang tulangan prategang adalah 7200 mm dengan luas penampang $28,26 \text{ mm}^2$. Model geometri tulangan dibuat pada modul *part* dengan cara :

- *Name = Tendon*
- *Create part.*
- *Modelling space > 3D.*
- *Type > Deformable.*
- *Base feature, Shape > Wire, Type > Planar.*
- *Continue..*
- *Created lines, 7200 mm.*
- *Done*



Gambar 3.11 *Part Wire*

2. Modul Property

Material tiap komponen dari hollow core slabs didefinisikan pada modul ini. Sifat dan karakteristik tiap material seperti elastis dimasukan datanya ke dalam modul properti ini. Data material mengacu pada hasil pengujian ataupun penelitian. Pada permodelan ini parameter yang akan didefinisikan adalah sebagai berikut :

a. Density

Density merupakan berat jenis dari material yang dimodelkan. Material dalam model ini berupa beton dan baja dengan berat jenis yang ditunjukkan pada Tabel 3.2. Berat jenis beton mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh *United States Department of Transportation – Federal Highway Administration* (FHWA, 2006) dengan mengambil interpolasi antara berat jenis mutu beton $f'c41$ dengan $f'c55$ untuk mendapatkan nilai untuk mutu $f'c 31,2$.

Tabel 3.9 Density material hollow core slabs

No.	Elemen	Density	
		Kg/m3	N/mm3
1	Beton f_c 31.2	2335	2.29064E-05
2	Wire	7850	$7,701 \times 10^{-5}$

b. Elastic

Nilai yang akan dimasukkan pada properti elastic adalah nilai modulus elastisitas dan rasio poisson. Pada data penampang yang dibahas pada bab sebelumnya bahwa kuat tekan beton (f'_c) sebesar 31.2 Mpa sehingga nilai modulus elastisitas dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.5.1 sebesar,

$$E_c = w_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (3-17)$$

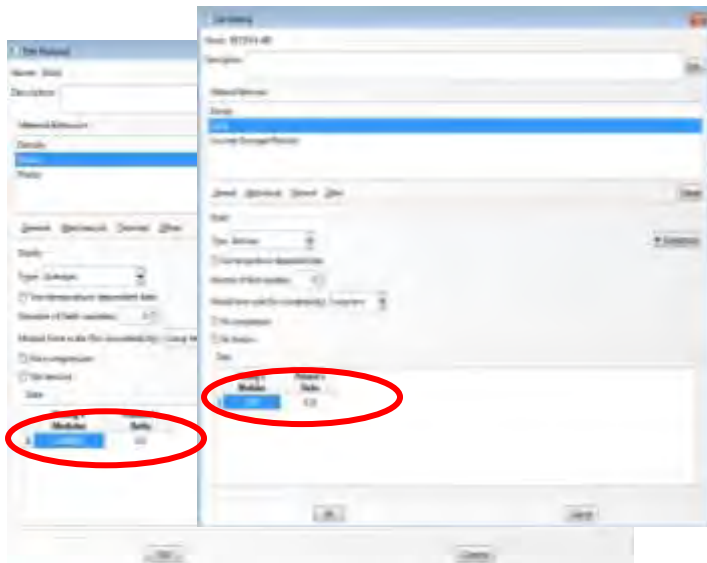
Dimana, $w_c = 2335 \text{ Kg/m}^3$; $f'_c = 31.2 \text{ Mpa}$

$$E_c = 2335^{1.5} 0,043 \sqrt{31.2} = 2700 \text{ MPa}$$

Sedangkan modulus elastisitas untuk wire diambil sebesar,

$$E_s = 2.10^5 \text{ Mpa}$$

Nilai rasio poisson beton berkisar antara 0.15-0.2 dan pada permodelan diambil sebesar 0.2 sedang untuk baja adalah 0,3. Input data pada program ditunjukkan pada Gambar 3.12



Gambar 3. 12 Properti material elastik hollow core slabs dalam Abaqus

c. *Concrete Damaged Plasticity*

Sifat inelastik material beton didefinisikan pada pilihan property ini ke dalam 3 kategori yaitu *plasticity*, *compressive behaviour*, dan *tensile behaviour*. Masing-masing kategori dapat disimak berikut.

- Plasticity

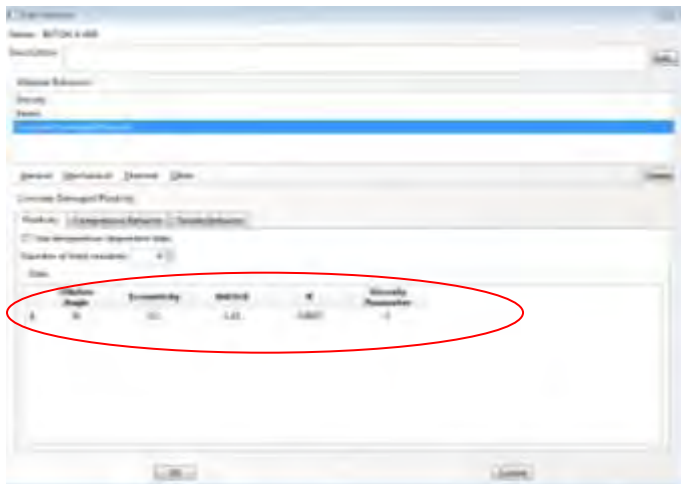
Data plasticity untuk beton terdiri dari beberapa nilai yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 10 Plasticity Material Beton (Kmiecik, 2011)

Dilation Angle	Eccentricity	F_b/f_{c0}	K	Viscosity Parameter
36	0.1	1.16	0.6667	0

- Dimana,
- Dilation Angle* : Sudut gesek dalam beton
- Eccentricity* : *Plastic potential eccentricity*
- $Fb0/fc0$: *Biaxial/uniaxial compression plastic strain ratio*
- K : *Deviatoric stress invariant ratio*

Kemudian data dimasukkan kedalam program bantu elemen hingga seperti ditunjukan pada Gambar 3.30.

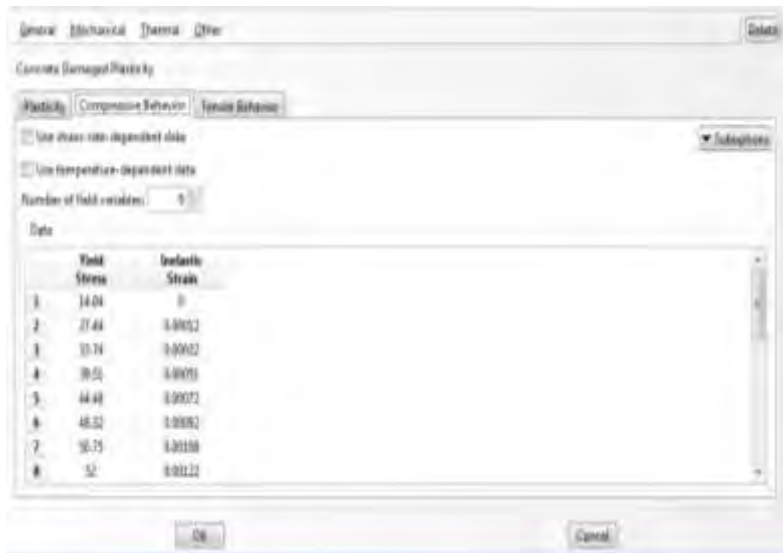


Gambar 3. 13 Properti material *plasticity* hollow core slabs dalam Abaqus

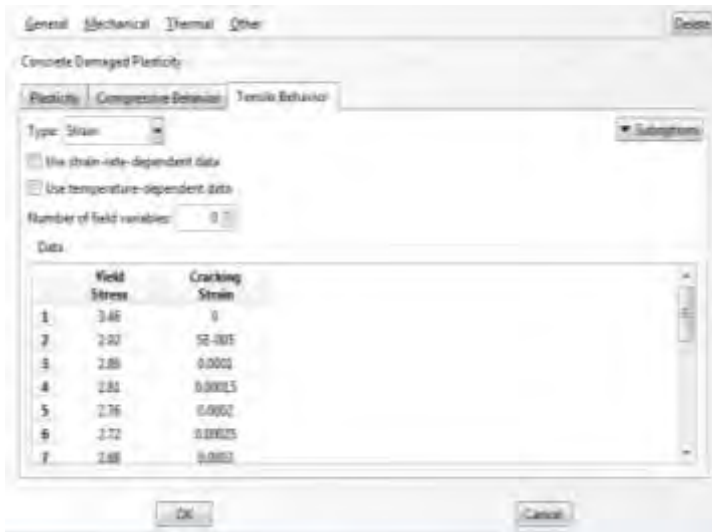
- *Compressive Behaviour dan Tensile Behaviour*

Pada bagian ini nilai tegangan dan regangan plastis beton akibat gaya tekan dimasukkan kedalam *input* program. Nilai tegangan-regangan ini didapat dari hasil penelitian yang hasilnya diregresikan kedalam bentuk kurva. Menurut ACI 318-11 tegangan inelastisitas beton terjadi setelah tegangan mencapai $0,45f'_c$.

Nilai tegangan regangan material beton didapat dari hasil perhitungan berdasarkan perumusan yang oleh *United States Department of Transportation – Federal Highway Administration* (FHWA, 2006). Nilai tegangan-regangan yang didapat sub bab 3.2. diatas di inputkan kedalam program Abaqus sebagai berikut,



Gambar 3. 14 *Compressive behaviour* beton f'_c 31,2 MPa (Kondisi tekan)



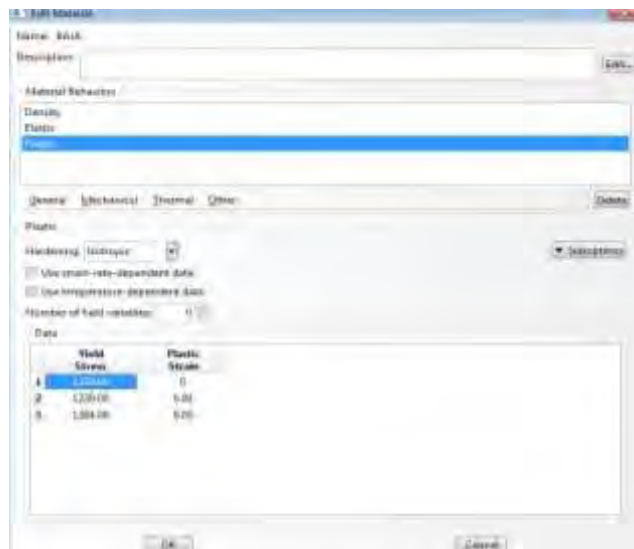
Gambar 3. 15 *Tensile behaviour* beton f'_c 31,2 MPa (Kondisi tarik)

d. *Plastic*

Pada tahap ini modul property plastic untuk material baja di masukan nilai tegangan dan regangannya. Berdasarkan hasil pengujian material tulangan prategang diperoleh regangan saat tegangan leleh sebesar 0,75% dan saat putus sebesar 10,6%. Nilai yang dimasukan pada program ditunjukkan pada Tabel 3.6 dan 3.7 dimana regangan inelastik dimulai pada saat tegangan leleh tulangan.

Tabel 3.11 Tegangan inelastik wire

Tegangan Mpa	Regangan	Regangan Inelastik
1239.00	0.00000	
1239.00	0.00750	-0.00250
1384.00	0.06667	0.05667

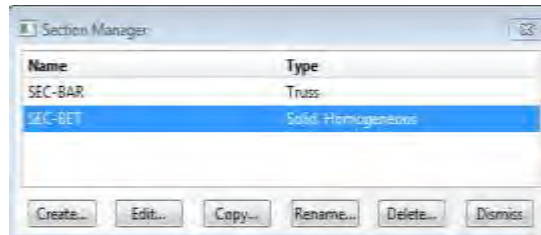


Gambar 3. 16 Input property plastic pada material baja

e. *Assign section*

Pada tahap ini material yang didefinisikan di tempatkan pada part sesuai dengan rencana permodelan. *Assign section* untuk part pelat hcs adalah *Solid-Homogeneous*. *Assgin section* untuk wire adalah *Truss*. *Assgin section* dilakukan dengan cara berikut :

- *Create section*
- *Name, Beton*
- *Category> Solid, Type> Homogeneous.*
- *Continue*
- *Material> Baja/Beton K-400*
- *OK.*

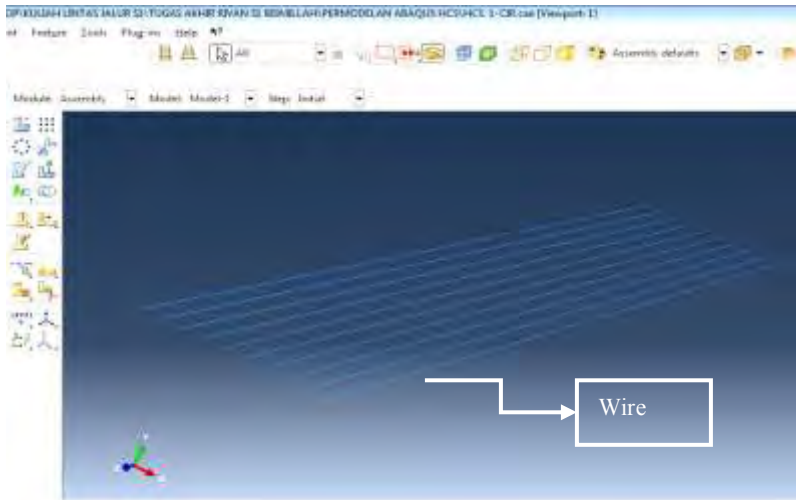


Gambar 3. 17 *Section Manager*

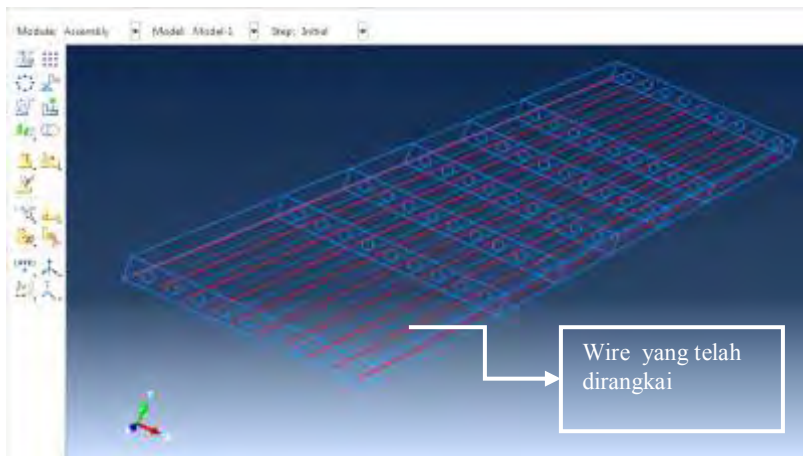
Geometri pada part telah dimasukan properti material dan siap untuk dirangkai.

3. Modul *Assembly*

Pada modul ini section yang sudah dibuat di rangkai menjadi satu kesatuan permodelan. Tulangan wire di susun sesuai gambar teknis pelat hcs pada modul ini ditunjukkan pada Gambar 3.28.. Hasil dari proses assembly dapat dilihat pada Gambar 3.39. Pada tengah bentang terdapat *face partition* yang berfungsi sebagai tempat pemberian beban



Gambar 3. 18 *Layout penulangan wire*

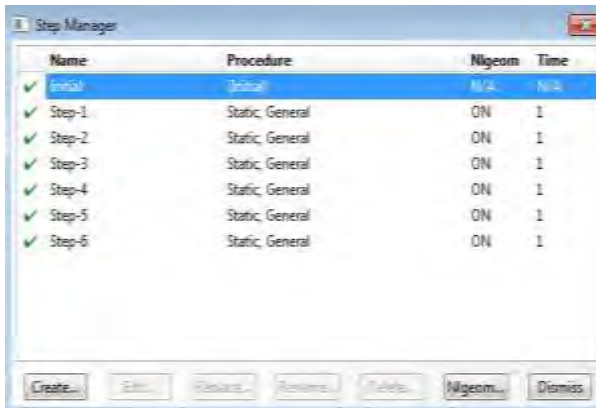


Gambar 3. 19 *HCS assembly.*

Part yang tersusun masih dalam kondisi tidak terhubung satu sama lain melainkan terpisah. Agar program dapat memproses analisa pada model dibutuhkan *interaction* yang akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

4. Modul *Step*

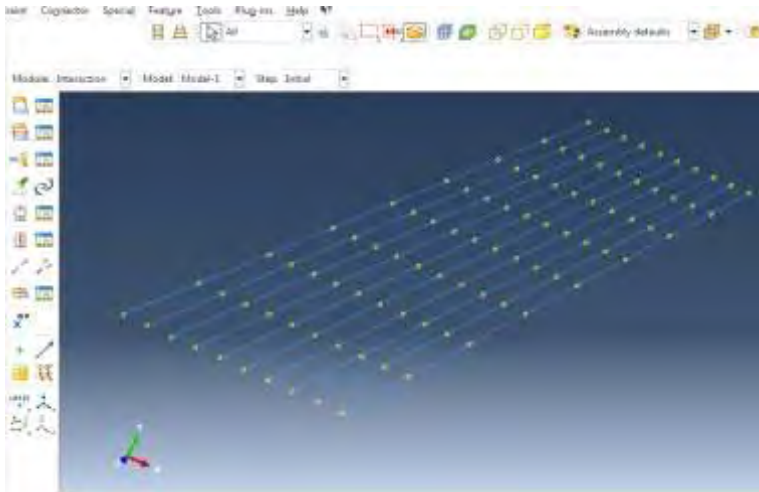
Modul *Step* digunakan untuk menentukan langkah yang dilalui selama proses simulasi. Step untuk permodelan pada tugas akhir ini terdiri dari 6 step. Step-1 sebagai kondisi gaya pratekan dalam kesetimbangan pada beton, Step-2 s/d Step-6 adalah pemberian beban *displacement* arah *y*.



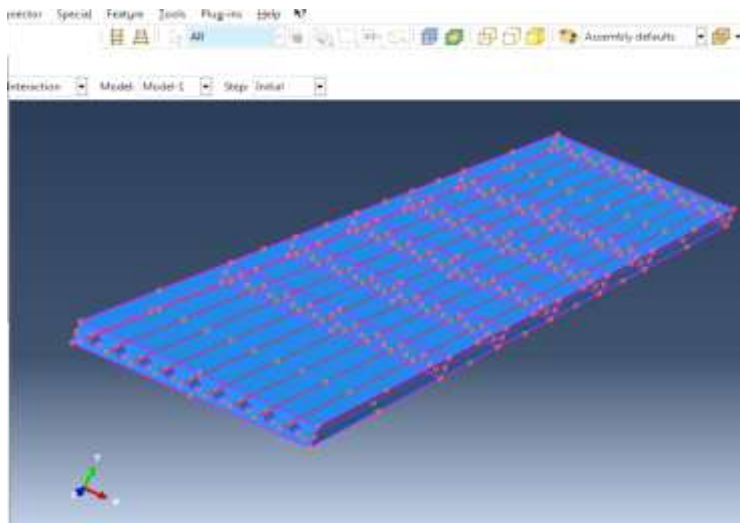
Gambar 3. 20 *Step manager*

5. Modul *Interaction*

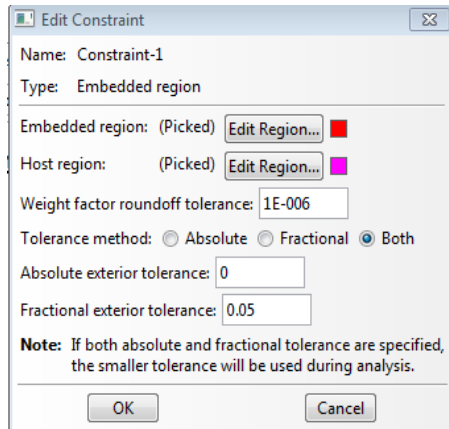
Pada modul ini part yang di assembly dihubungkan dengan kontak antar part. Untuk tulangan wire dihubungkan dengan pelat hcs dengan menggunakan *Interaction Embedded Region*. Dengan tulangan wire sebagai *embedded region* dan pelat hcs sebagai *host region* yang ditunjukkan pada gambar 3.41 dan 3.42.



Gambar 3. 21 *Embedded region*



Gambar 3. 22 *Host region*



Gambar 3. 23 *Interaction Embedded Region*

6. Modul *Load*

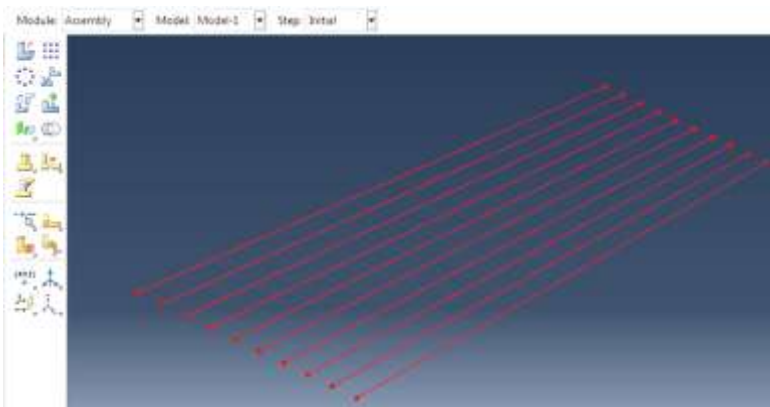
Modul ini berfungsi untuk menentukan jenis beban dan menentukan kondisi perletakan pada model yang dibuat. Pada step *initial* beban yang diberikan adalah gaya prategang pada setiap tulangan wire sebesar 1239 Mpa. Pemberian gaya prategang tidak dapat dilakukan langsung pada tampilan program, melainkan melalui *input file* yang ditulis pada program saat job akan dijalankan. dengan cara sebagai berikut :

- Membuat grup elemen pada model tree expand part> terdapat Sets.
- *Name = Set-1, Type> Element, Continue.*



Gambar 3. 24 *Create set.*

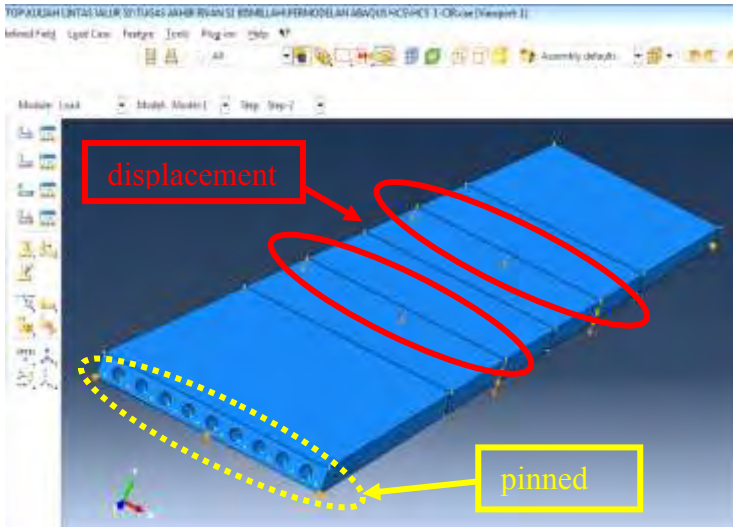
- Pilih elemen yang akan dijadikan grup> *Done.*



Gambar 3. 25 *Element* untuk Set-1.

- Pada input file setelah modul job dibuat, masukan perintah berikut,
 *Initial Conditions, Type=Stress
 Set-1, 1239.
- *Save as* dengan nama baru> *Save.*

Boundary *conditions* yang diterapkan pada model ini adalah perletakan sendi pada tumpuan. Beban pada model menggunakan *boundary conditions displacement* pada tengah bentang yang telah dipartisi.

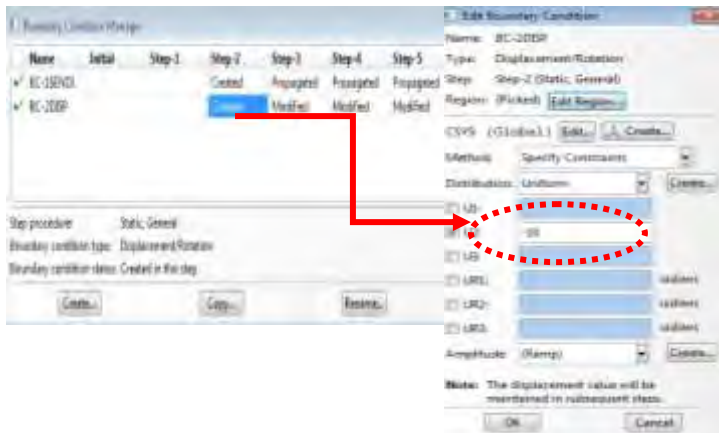


Gambar 3. 26 *Boundary conditons*.

Beban displacement pada model bekerja mulai dari Step-2 permodelan sampai step terakhir. Besarnya *displacement* yang diberikan pada setiap step dapat ditunjukkan pada Tabel 3.12

Tabel 3. 12 *Displacement* setiap *Step*

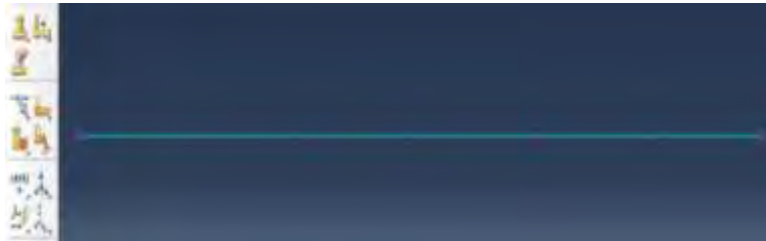
Step	Displacement (mm)
1	0
2	10
3	20
4	30
5	40
6	50

Gambar 3. 27 *Boundary Condition Manager*

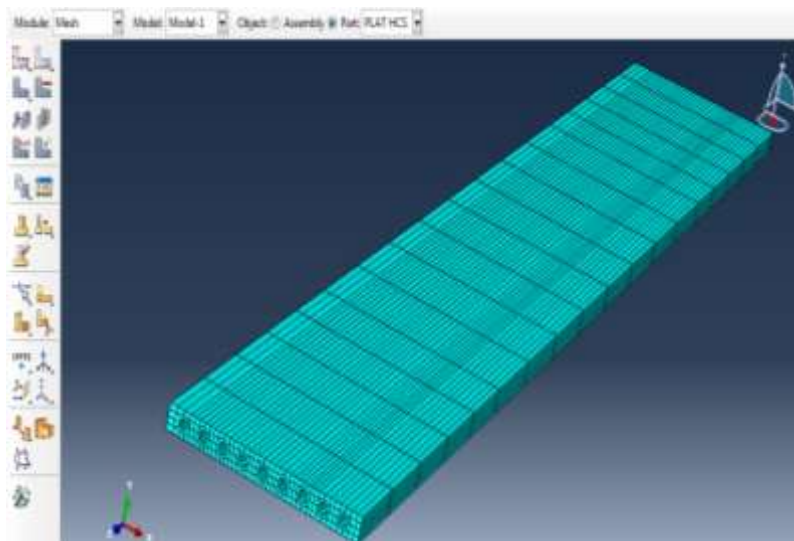
7. Modul Mesh

Mesh elemen hingga untuk geometri pelat hcs adalah *standard eight-node linear hexahedral 3D continuum elements with full integration* dengan ukuran tiap elemen adalah 400 mm. Mesh elemen untuk tulangan wire adalah *standard two-node 3D truss*

element dengan ukuran 1200 mm. Mesh permodelan ditunjukkan pada Gambar 3.28 dan 3.29



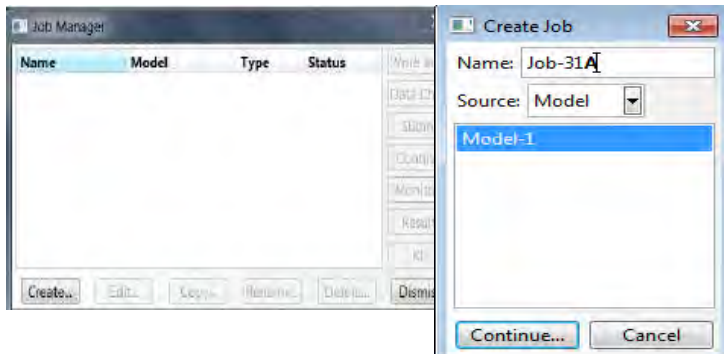
Gambar 3. 28 *Mesh* permodelan tulangan wire



Gambar 3. 29 *Mesh* permodelan pelat hcs

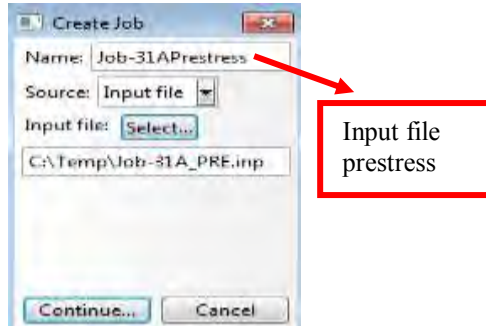
8. Modul *Job*

Analisa permodelan dilakukan pada modul ini. Perlu diingat pada pembahasan modul load, edit input file pada program harus dibuat untuk menjalankan gaya pratekan pada model. Selanjutnya running program dijalankan dengan menjalankan input file yang telah diedit. Langkah modul job adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 30 *Job manager*.

- Tool box area > Job Manager.
- *Create*
- *Name = Job-31A, Source = Model-1, Continue.*
- OK
- Pada job manager klik *write* untuk membuat input file yang akan dimasukan perintah pada pembahasan modul load.
- Untuk menjalankan input file, *Create > Name = 31A JobPrestressed, Source = Input file, Input file:* pilih lokasi penyimpanan *input file >Ok, Continue > Ok.*



Gambar 3. 31 *Create Job* untuk input file.

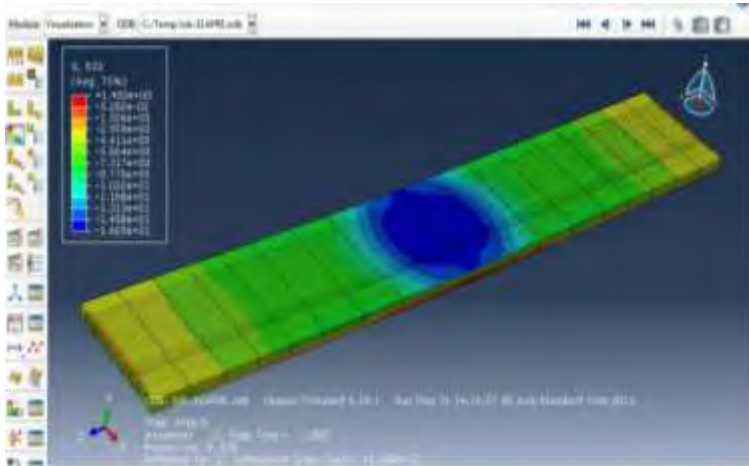
- Running analisa dilakukan pada *job* dengan sumber *input file* > *Submit*.
- *Monitor* status *job* untuk mengetahui adanya *error* atau tidak pada permodelan.
- Setelah *job complete* > *Result*.
- Hasil running program disajikan pada bab berikutnya



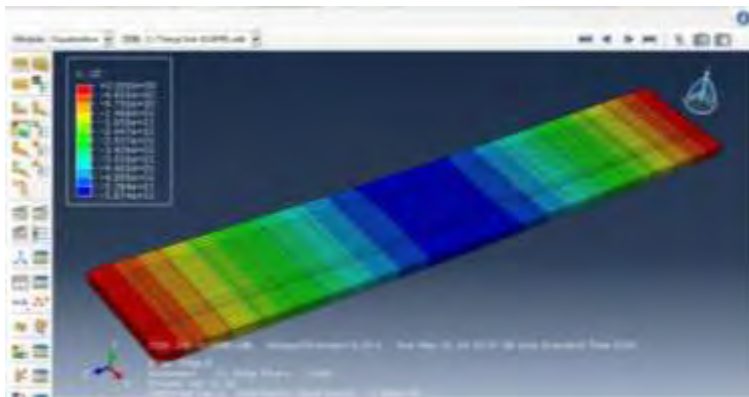
Gambar 3. 32 *Job input file* pada *job manager* yang telah di run

9. Visualization

Visualization merupakan hasil dari serangkaian tahapan yang telah kita kerjakan. Pada tahap ini kita dapat mengetahui nilai lendutan, nilai tegangan, dan kontur deformasi yang terjadi. Nilai-nilai tersebut ditinjau pada arah melintang pelat precast hollow core slabs (hcs).



Gambar 3.33 Tegangan maksimum yang terjadi



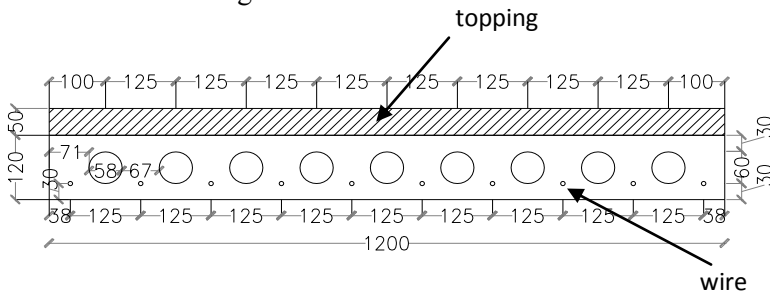
Gambar 3.34 Lendutan maksimum yang terjadi

“Halaman Ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA PERHITUNGAN LENTUR

4.1 Preliminary Desain

Dalam bab ini akan diberikan satu contoh perhitungan pelat hollow core slabs prategang dengan mutu beton dan pc-wire yang akan dijelaskan terperinci di bawah ini. Untuk variable mutu beton dan pc-wire yang lain akan ditampilkan hasilnya dalam bentuk tabel. Adapun data-data yang akan digunakan dalam analisa tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Penampang hollow core slabs

Data-data Perencanaan :

Panjang bentang (L)	= 7,2 m
Tinggi bangunan (kolom)	= 4,5 m
Dimensi kolom	= 80x80 cm
Dimensi balok	= 40x60 cm
Lebar Bentang (bw)	= 1,2 m
Modulus Elastisitas Beton (E)	= 250000 kg/cm ²
Perletakan	= sendi-sendi
Tebal pelat hcs (h)	= 0,12 m
Tebal topping pelat (t)	= 0,05 m

Perhitungan :

Mutu beton K-400 $= 317,9 \text{ kg/cm}^2$

Luas per satuan panjang arah sumbu x :

$$A_x = (b \cdot h) - \left(\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \right)$$

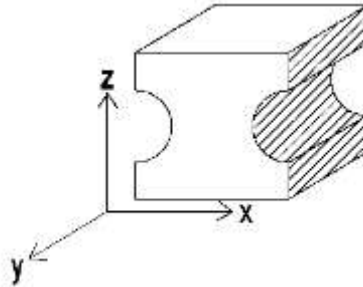
$$= (0,125 \times 0,12) - (1/4 \times \pi \times 0,029^2)$$

$$= 0,012 \text{ m}^2$$

Acx (luasan selebar 1,2 m) :

$$= A_x \cdot \text{jmlh}$$

$$= 0,012 \text{ m}^2 \times 9 \text{ bh} = 0,111 \text{ m}^2$$



Gambar 4.3 Arah gaya pada penampang hcs

Maka Momen inersia arah sumbu x :

$$I_x = \left(\frac{1}{12} b \cdot h^3 - \frac{1}{4} \pi \cdot r^4 \right) \times \text{jmlh}$$

$$= \left(\frac{1}{12} 0,125 \times 0,12^3 - \frac{1}{4} \pi \cdot 0,029^4 \right) \times 9 \text{ bh}$$

$$= 1,345 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned}
 S_x &= I_x / y = 1,345 \times 10^{-3} / (0,5 \times 0,12) \\
 &= 2,24 \times 10^{-2} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Luas per satuan panjang arah sumbu y :

$$A_y \text{ (per meter)} = h \cdot 1\text{m} = 0,12 \text{ m}$$

Acy (luasan sepanjang 7,2 m) :

$$\begin{aligned}
 &= A_y \cdot L_{si} = 0,12 \times 7,2 \\
 &= 0,86 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

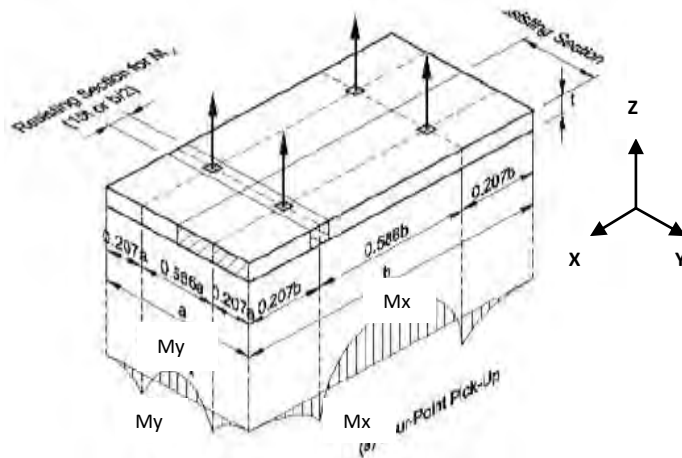
Maka Momen inersia arah sumbu y :

$$\begin{aligned}
 I_y &= \left(\frac{1}{12} L \cdot t^3 + L \cdot t \cdot r^2 \right) \cdot 2 \\
 &= \left(\frac{1}{12} \times 7,2 \times 0,03^3 + 7,2 \times 0,03 \times 0,04^2 \right) \times 2 \\
 &= 7,23 \times 10^{-4} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_y &= I_y / y = 1,244 \times 10^{-4} / (0,5 \times 0,12) \\
 &= 1,2 \times 10^{-2} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Akibat Handling

Tegangan yang terjadi akibat handling atau pengangkatan sewaktu pemasangan pelat hollow core slabs adalah seperti gambar berikut. Direncanakan pengangkatan menggunakan 4 bh sling kabel baja.



Gambar 4.4 Momen yang terjadi pada saat handling

Dari gambar di atas momen maksimum yang terjadi dirumuskan sebagai berikut :

$$+ My = - My = 0.0107 \cdot w a^2 \cdot b$$

$$+ Mx = - Mx = 0.0107 \cdot w a \cdot b^2$$

Penyelesaian :

$$\text{Mutu beton K-400} = 317,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tahanan (Sx)} &= \frac{I_x}{h/2} = \frac{0,001345}{0,12/2} \\ &= 22.416,72 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$ap = Lsi = 7,2 \text{ m}$$

$$h = 0,12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 bw &= bp = 1,2 \text{ m} \\
 bj. \text{ Beton} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 w &= h. Bj. \text{ Beton} = 0,12 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 288 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu beton (f.kub)} &= 317,9 \text{ kg/cm}^2 \\
 f_c &= 0,83 \cdot f_{kub} = 0,83 \times 317,9 = 263,86 \text{ kg/cm}^2 \\
 F_{t.ijin} &= 0,5\sqrt{f_c} = 0,5\sqrt{263,86} = 8,12 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= 0,0107 \cdot w \cdot ap^2 \cdot bp \\
 &= 0,0107 \times 288 \times 7,2^2 \times 1,2 = 191,70 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_x &= 0,0107 \cdot w \cdot ap \cdot bp^2 \\
 &= 0,0027 \times 288 \times 7,2 \times 1,2^2 = 31,95 \text{ kg.m} \\
 &= 3195,0 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

$$F_t = \frac{M_x}{S_x} = \frac{3195,0}{22.416,72} = 0,14 \text{ kg/cm}^2$$

Syarat tegangan tarik beton yaitu :

$$F_t < F_{t.ijin} = 0,14 < 8,12 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (\text{memenuhi})$$

Diameter kabel yang digunakan sewaktu handling hcs :

$$\begin{aligned}
 d.\text{renc} &= 3/8 \text{ inch} &= 9,525 \text{ mm} \\
 P.\text{ijin kabel} &= 3,6 \text{ kips} &= 16 \text{ kN (tabel3.3)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Momen yang terjadi pada saat handling

Diameter (in.)	Safe Load (kips) ^b
$\frac{3}{8}$	3.6
$\frac{7}{16}$	4.4
$\frac{1}{2}$	5.7

$$P_i = \frac{P.i\text{jin kabel}}{g} = 1633 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{rongga} &= (\pi \cdot r^2 \cdot L_{si} \cdot B_{j.beton}) \\ &= (\pi \times 0,029^2 \times 7,2 \times 2400) \\ &= 410,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_c (\text{berat total hcs}) &= a_p \cdot b_p \cdot t_p \cdot b_j \cdot \text{beton} - \text{rongga} \\ &= 7,2 \times 1,2 \times 0,12 \times 2400 - (410,68) \\ &= 2077,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{\text{kabel}} = \frac{w_c}{4} = \frac{2488,32}{4} = 519,40 \text{ kg}$$

Syarat tegangan kabel yaitu :

$$P_{\text{kabel}} < P_i = 519,40 < 1633 \text{ kg} \dots\dots\dots (\text{memenuhi})$$

- *Maka digunakan 4 bh sling baja d = 3/8 inch untuk handling pelat hollow core slabs pada saat pemasangan*

4.4 Perhitungan HCS (per satu meter lebar)

Data Perencanaan :

Tinggi Penampang hcs (h)	= 0,12 m
Tinggi topping (h.top)	= 0,05 m
Lebar penampang (bw)	= 1,2 m
Luas penampang (Ac=Acx)	= 0,111 m ²
Momen inersia (Ic = Ix)	= 1.345.003.060 mm ⁴
Garis berat bottom (cb)	= h/2 = 0,06 m
Garis berat top (ct)	= h – cb = 0,06 m
Sec. Modulus top (St)	= Ic/Ct = 22.416.718 mm ³
Sec. Modulus bottom (Sb)	= Ic/Cb = 22.416.718 mm ³

Material:

a. Beton

$$\begin{aligned} \text{Mutu beton (fkub)} &= 317,9 \text{ kg/cm}^2 = 31,2 \text{ MPa} \\ f_c &= 0,83 \text{ fkub} = 25,90 \text{ MPa (kuat tekan beton)} \\ f_{ci} &= 0,65 \cdot f_c = 16,83 \text{ Mpa (kuat tekan beton} \\ &\quad \text{saat usia 7 hari)} \end{aligned}$$

batasan tegangan beton pada saat penyaluran prategang/tahap awal : (SNI Beton 2002 Pasal 20.4)

$$\begin{aligned} F_{ci} &= -0,6 \cdot f_{ci} = -10,10 \text{ MPa (kuat tekan terluar)} \\ F_{ti} &= \frac{1}{4} \cdot \sqrt{f_{ci}} = 1,026 \text{ MPa (kuat tarik terluar)} \end{aligned}$$

pada saat layan/tahap akhir :

$$\begin{aligned} F_c &= -0,45 \cdot f_c = -11,65 \text{ MPa (akibat prategang + DL + LL)} \\ F_t &= 0,5 \cdot f_c = 12,95 \text{ Mpa (akibat prategang + DL + LL}_{tot}) \end{aligned}$$

E_c : (modulus elastisitas beton) SNI 2002/ACI pasal 10.5.1

E_{ci} : (modulus elastisitas beton saat diberi gaya pratekan)

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c} = 23.917,4 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 4700 \cdot \sqrt{f_{ci}} = 19.282,8 \text{ MPa}$$

b. Kabel prategang

$$f_{pu} = 1770 \text{ MPa} = 256.731,42 \text{ psi}$$

batasan tegangan tarik tendon pratekan:

(SNI 2002 Pasal 20.5)

$$f_{py} = 0,9 \cdot f_{pu} = 1.593 \text{ MPa (Akibat pengangkuran)}$$

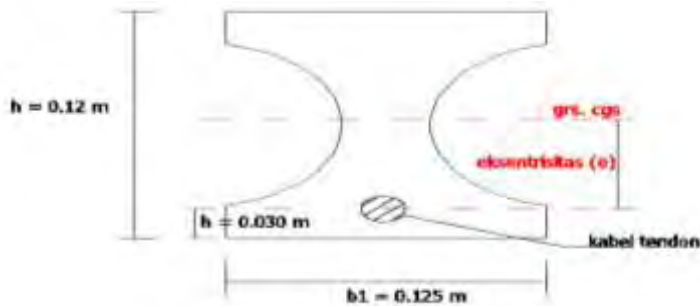
$$f_{pi} = 0,74 f_{pu} = 1.310 \text{ MPa (Akibat gaya prategang)}$$

$$\text{diameter tendon} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah (n)} = 10 \text{ bh}$$

$$\text{luas per tendon efektif (} A_1) = \frac{1}{4} \pi d^2 = 28,26 \text{ mm}^2$$

$$\text{eksentrisitas (e)} = 0,5 \text{ h} - 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$



Gambar 4.6 Eksentrisitas kabel tendon prategang

- c. Tulangan Baja
- | | |
|-----------|-----------|
| (f_y) | = 490 MPa |
| BJTP | = 240 MPa |
| BJTD | = 390 MPa |

4.5 Perhitungan Gaya Dalam Pelat HCS

Berat volume beton normal (γ_c) = 24 kN/m³
 Faktor reduksi lentur (ϕ) = 0,9

Pelat (Q.slabs) = $A_{cx} \cdot \gamma_c$
 = 0,111 . 24 = 2,65 kN/m

M.slabs = $\frac{1}{8} \cdot Q_{slabs} \cdot L_{si}^2$
 = $\frac{1}{8} \cdot 2,65 \cdot 7,2^2 = 17,2$ kN/m

Topping (Q.top) = $h_{top} \cdot b_w \cdot \gamma_c$
 = 0,05 . 1,2 . 24 = 0,159 kN/m

Tambahan (Q.tb) = 1 kN/m (asumsi $b_w = 1,2$)

$$\begin{aligned}
 Q.dlt &= Q_{slabs} + Q_{top} + Q_{tb} \\
 &= 2,65 + 0,159 + 1 = 3,81 \text{ kN/m} \\
 B.hidup(Q_{ll}) &= 3 \text{ kN/m} \\
 Q &= Q.dlt + Q_{ll} \\
 &= 3,81 + 3 = 6,83 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4.6 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

a. Akibat Perpendekan Perpendekan Elastis / *Elastic Shortening* (ES) :

$$\begin{aligned}
 P_{i.kabel} &= 0.7.n.A_1.f_{pu} \\
 &= 0.7.10.28,26 \cdot 1850 \\
 &= 365.967 \text{ N} = 365,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_g &= -\frac{1}{8} \cdot Q.dlt \cdot L_{si}^2 \\
 &= -\frac{1}{8} \cdot 3.83 \cdot 7,2^2 = -24,82 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{ci} &= 19.282,8 \text{ MPa} \\
 E_s &= 200.000 \text{ MPa} \\
 K_{es} (\text{untuk batang pratarik}) &= 1 \\
 K_{cir} (\text{untuk batang pratarik}) &= 0.9
 \end{aligned}$$

$$f_{cir} = \left(\frac{P_{i.kabel}}{A_c} + \frac{P_{i.kabel} \cdot e^2}{I_c} \right)^2 - \frac{M_g \cdot e}{I_c}$$

$$f_{cir} = \left(\frac{365967}{111233} + \frac{365967 \cdot 30^2}{1.345.003.060} \right)^2 - \frac{24816949 \times 30}{1.345.003.060}$$

$$f_{cir} = 3,18 - (-0,55) = 3,74 \text{ MPa}$$

$$ES = K_{es} \cdot \frac{Es}{E_{ci}} \cdot f_{cir}$$

$$ES = 1 \cdot \frac{200.000}{19.282} \cdot 3,74 = 38,74 \text{ MPa}$$

Maka kehilangan gaya akibat perpendekan elastis
= 38,74 MPa

b. Akibat Rangkak Beton / *Creep Concrete (CR)* :

K_{cr}(untuk batang pratarik) = 2

$$\begin{aligned} M_{sd} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{ll} \cdot L \cdot s^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 3 \cdot 7,2^2 = 19,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$f_{cds} = \frac{M_{sd} \cdot e}{I_c} = \frac{19.440.000,30}{1.345.003.060} = 0,43 \text{ MPa}$$

$$f_{cir} - f_{cds} = 3,30 \text{ MPa}$$

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{Es}{E_{ci}} \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

$$CR = 2 \cdot \frac{200000}{19.282} \cdot 3,30 = 68,48 \text{ MPa}$$

Maka kehilangan gaya akibat rangkak beton
= 68,48 MPa

c. Akibat Susut Beton / *Shrinkage Concrete (Δf_{pSH})* :

$$\text{Luas (A}_{cx}) = 111233,34 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling (S}_c) &= 2 \cdot (b_w + h) = 2,64 \text{ m} \\ &= 2640 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Luas/keliling (V/S)} = \frac{Ac}{Sc} = \frac{111233,34}{2,64} = 42,13 \text{ mm}$$

$$\text{RH (kelembaban sekitar)} = 78 \%$$

$$\text{Ksh (koefisien susut pretension)} = 1$$

$$(\Delta f_{pSH}) = 8,2 \times 10^{-6} \text{ Ksh. Es. } \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

$$= 8,2 \times 10^{-6} \cdot 1 \times 2 \times 10^5 \cdot (1 - 0,06 \times 42,13) \times (100 - 78)$$

$$= 26,96 \text{ MPa}$$

$$\text{Maka kehilangan gaya akibat susut beton} = 26,96 \text{ MPa}$$

d. Akibat relaksasi baja / *Steel Relaxation (RE)* :

$$\text{Kre} = 138 \text{ MPa}$$

$$\text{J} = 0,15 \text{ (tabel nilai Kre dan J)}$$

$$\text{Fsi/fpu} = 0,7 \rightarrow c = 0,7$$

$$\begin{aligned} \text{RE} &= [\text{Kre} - \text{J} \cdot (\text{SH} + \text{CR} + \text{ES})] \cdot c \\ &= [138 - 0,15 \cdot (26,96 + 68,48 + 38,74)] \cdot 0,7 \\ &= 83,45 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Maka kehilangan gaya akibat relaksasi baja} = 83,45 \text{ MPa}$$

Maka total kehilangan gaya prategang adalah sebagai berikut :

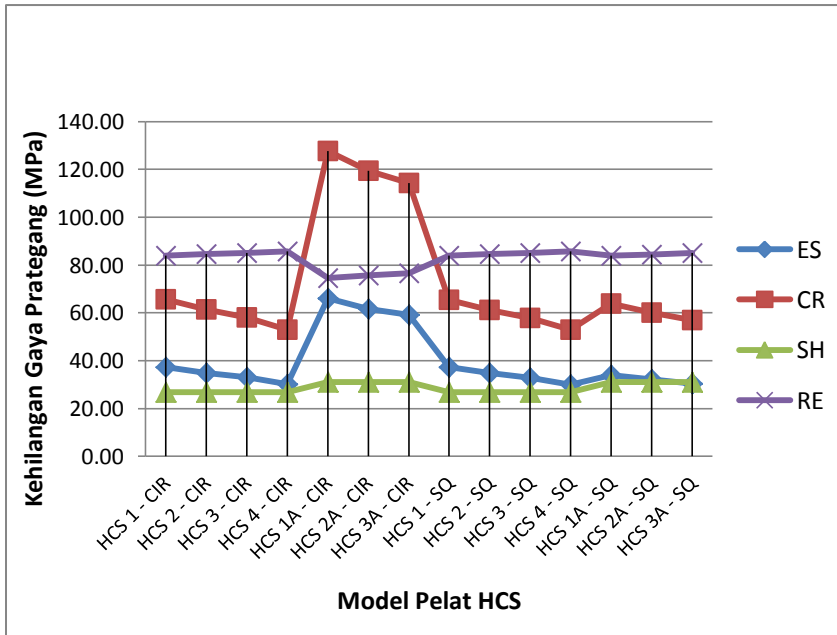
$$\begin{aligned} \text{Total Losses} &= \text{ES} + \text{CR} + \text{SH} + \text{RE} \\ &= 217,63 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Total Losses}(\%) = 11,76 \% \approx 12 \%$$

Tabel 4.2 Kehilangan Gaya Prategang Pada Beberapa Tipe Pelat HCS

No	Model Pelat	Kehilangan gaya prategang (Mpa)					% lossess
		ES	CR	SH	RE	Total lossess	
1	HCS 1 - CIR	37.31	65.63	26.96	83.87	213.77	12.08%
2	HCS 2 - CIR	34.88	61.35	26.96	84.53	207.71	11.73%
3	HCS 3 - CIR	33.04	58.11	26.96	85.03	203.13	11.48%
4	HCS 4 - CIR	30.14	53.01	26.96	85.81	195.92	11.07%
5	HCS 1A - CIR	66.02	127.70	31.10	74.57	299.39	16.91%
6	HCS 2A - CIR	61.71	119.36	31.10	75.81	287.98	16.27%
7	HCS 3A - CIR	59.12	114.36	31.10	76.55	281.14	15.88%
8	HCS 1 - SQ	37.23	65.47	26.93	83.90	213.53	12.06%
9	HCS 2 - SQ	34.80	61.20	26.93	84.55	207.48	11.72%
10	HCS 3 - SQ	32.97	57.97	26.93	85.05	202.91	11.46%
11	HCS 4 - SQ	30.07	52.88	26.93	85.83	195.72	11.06%
12	HCS 1A - SQ	34.04	63.78	31.09	83.97	212.87	12.03%
13	HCS 2A - SQ	32.12	60.18	31.09	84.51	207.89	11.75%
14	HCS 3A - SQ	30.42	57.00	31.09	84.99	203.50	11.50%

**Dari tabel 4.2 di atas prosentase kehilangan gaya prategang terbesar pada model Pelat HCS 1A – CIR sebesar 16,91%*



Gambar 4.7 Grafik model pelat terhadap kehilangan gaya prategang

4.7 Perhitungan Tegangan dan Kapasitas Pelat HCS dengan Bentang 7,2 m

Data Perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi Penampang hcs (h)} &= 0,12 \text{ m} \\
 \text{Tinggi topping (h.top)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Lebar penampang (bw)} &= 1,2 \text{ m} \\
 \text{Luas penampang (Ac=Acx)} &= 0,111 \text{ m}^2 \\
 \text{Momen inersia (Ic = Ix)} &= 1.345.003.060 \text{ mm}^4 \\
 \text{Garis berat bottom (cb)} &= h/2 = 0,06 \text{ m} \\
 \text{Garis berat top (ct)} &= h - cb = 0,06 \text{ m} \\
 \text{Sec. Modulus top (St)} &= Ic/Ct = 22.416.718 \text{ mm}^3 \\
 \text{Sec. Modulus bottom (Sb)} &= Ic/Cb = 22.416.718 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Material

a. Beton

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu beton (fkub)} &= 317,9 \text{ kg/cm}^2 = 31,2 \text{ MPa} \\
 f_c &= 0,83 \text{ fkub} = 25,90 \text{ MPa (kuat tekan beton)} \\
 f_{ci} &= 0,65 \cdot f_c = 16,83 \text{ Mpa (kuat tekan beton saat usia 7 hari)}
 \end{aligned}$$

batasan tegangan beton pada saat penyaluran prategang/tahap awal : (SNI Beton 2002 Pasal 20.4)

$$\begin{aligned}
 F_{ci} &= -0,6 \cdot f_{ci} = -10,10 \text{ MPa (kuat tekan terluar)} \\
 F_{ti} &= \frac{1}{4} \cdot \sqrt{f_{ci}} = 1,026 \text{ MPa (kuat tarik terluar)}
 \end{aligned}$$

pada saat layan/tahap akhir :

$$\begin{aligned}
 F_c &= -0,45 \cdot f_c = -11,65 \text{ MPa (akibat prategang + DL + LL)} \\
 F_t &= 0,5 \cdot f_{ci} = 12,95 \text{ Mpa (akibat prategang + DL + LLtot)}
 \end{aligned}$$

E_c : (modulus elastisitas beton) SNI 2002/ACI pasal 10.5.1

E_{ci} : (modulus elastisitas beton saat diberi gaya pratekan)

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c} = 23.917,4 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 4700 \cdot \sqrt{f_{ci}} = 19.282,8 \text{ MPa}$$

b. Kabel prategang

$$f_{pu} = 1770 \text{ MPa} = 256.731,42 \text{ psi}$$

batasan tegangan tarik tendon pratekan:

(SNI 2002 Pasal 20.5)

$$f_{py} = 0,9.f_{pu} = 1.593 \text{ MPa (Akibat pengangkuruan)}$$

$$f_{pi} = 0,74.f_{pu} = 1.309 \text{ MPa (Akibat gaya prategang)}$$

$$\text{diameter tendon} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah (n)} = 10 \text{ bh}$$

$$\text{luas per tendon efektif (A1)} = 1/4\pi d^2 = 28,26 \text{ mm}^2$$

$$\text{eksentrisitas (e)} = 0,5 \text{ h} - 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

c. Tulangan Baja

$$\text{Wiremesh}(f_y) = 490 \text{ MPa}$$

$$\text{BJTP} = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{BJTD} = 390 \text{ MPa}$$

Dimensi Pelat Komposit :

$$\text{Tinggi pelat (hsl)} = h_{\text{top}} + h = 0,05 + 0,12$$

$$= 0,170 \text{ m}$$

$$\text{Panjang total (Lsi)} = 7,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi topping (h.top)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Beton topping (fkub.top)} = 225 \text{ kgf.cm}^{-2} \text{ (mutu beton K-225)}$$

$$f'c \text{ top} = 0,83.f_{\text{kub.top}} = 0,83 \times 225$$

$$= 18,675 \text{ MPa (kuat tekan beton topping)}$$

$$E_{c.\text{top}} = 4700 \sqrt{f'c \text{ top}} = 4700 \times \sqrt{18,675}$$

$$= 20310,85 \text{ MPa}$$

$$E_c = 23917,4 \text{ MPa}$$

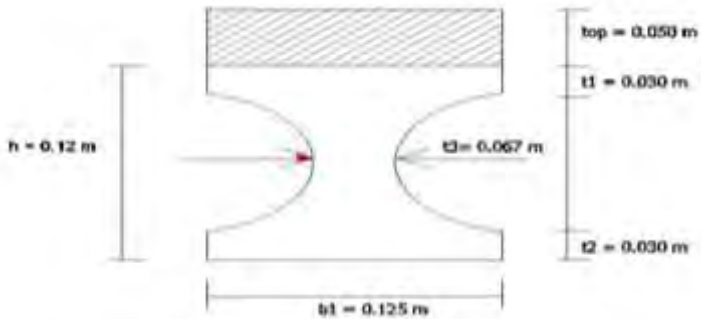
$$n_c = \frac{E_{c.\text{top}}}{E_c} = \frac{20310,85}{23917,4} = 0,85 \text{ MPa}$$

$$E_c$$

n_c (rasio modulus elastisitas)

lebar pelat (bw)= 1,2 m = 1200 mm

lebar pelat transformasi (be) = $n_c \cdot bw = 0,85 \times 1200 = 1019,05$ mm



Gambar 4.8 Penampang HCS komposit

Luas penampang komposit (A_{ck}) = $A_{cx} + (b_e \cdot h_{top})$

$$= 111233,3 + (1019,05 \times 0,12)$$

$$= 162.185,81 \text{ mm}^2$$

Garis berat bawah (C_{bk})

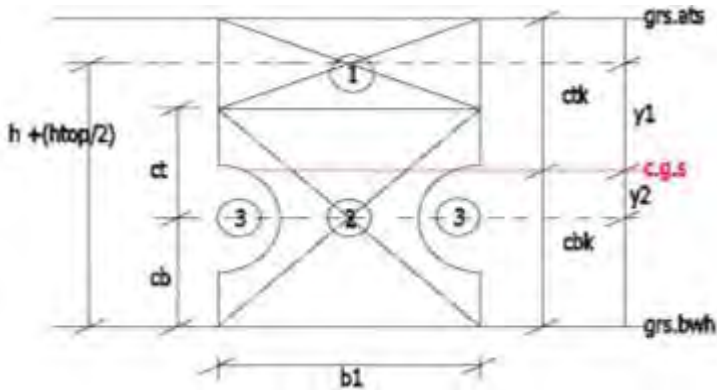
$$= \frac{\{b_e \cdot h_{top} \times (h + (h_{top}/2))\} + (A_c \cdot C_b)}{A_{ck}}$$

$$= \frac{\{1019 \times 0,05 \times (0,12 + (0,05/2))\} + (111233 \times 0,06)}{162.185,81}$$

$$= 86,70 \text{ mm}$$

Garis berat atas (C_{tk}) = $h_{si} - C_{bk} = 1700 - 86,70$

$$= 83,30 \text{ mm}$$



Gambar 4.9 Titik berat penampang hcs komposit

Momen Inersia Komposit :

$$y1 = ctk - \frac{1}{2} \cdot h_{top} = 58,30 \text{ mm}$$

$$y2 = cbk - cb = 26,70 \text{ mm}$$

Perhitungan Gaya Dalam :

$$\begin{aligned} \text{Berat volume beton normal } (\gamma_c)n &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 24 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi lentur } (\phi) = 0,9$$

Beban – Beban :

Beban Mati (Dead Load) :

$$\begin{aligned} \text{Pelat (Q.slb)} &= A_c \cdot \gamma_c = 0,111 \times 24 \\ &= 2,67 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Topping (Q.top)} &= h_{top} \cdot b_w \cdot \gamma_c \\ &= 0,05 \times 1,2 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Tambahan (Q.tamb)} = 1 \text{ kN/m (asumsi lebar } b_w = 1200 \text{ mm)}$$

$$\text{QDL} = \text{Qslb} + \text{Q.top} + \text{Q.tamb} = 5,11 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup (Live Load)

$$QLL = 3 \text{ kN/m}$$

Momen :

$$\begin{aligned} MDL &= \frac{1}{8} \times QDL \times L^2 = \frac{1}{8} \times 5,11 \times 7,2^2 \\ &= 33,11 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MLL &= \frac{1}{8} \times QLL \times L^2 = \frac{1}{8} \times 3 \times 7,2^2 \\ &= 19,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.8 Perhitungan Tegangan Pada Gaya Prategang

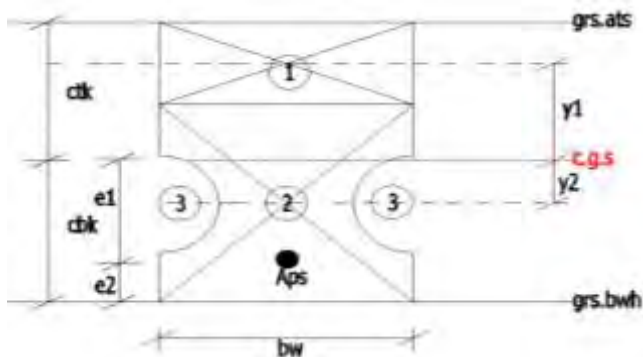
Diketahui :

$$\begin{aligned} f_c' &= 25,90 \text{ MPa} \\ f_{c'i} &= 16,83 \text{ MPa (tegangan beton awal prategang)} \\ f_{pu} &= 1770 \text{ MPa (tegangan putus tendon)} \\ E_{ps} &= 197,4 \text{ MPa (Modulus elastisitas tendon)} \\ A_{ps} &= 282,60 \text{ mm}^2 \text{ (luas tendon)} \rightarrow 10 \text{ tendon} \\ (\gamma_c)_{beton} &= 24 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban mati merata} &= 1 \text{ kN/m} \\ \text{Bentang (Lsi)} &= 7,2 \text{ m} \\ \text{Loss prestress} &= 12\% \\ E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} = 23917,4 \text{ MPa} \\ E_{ctop} &= 4700 \sqrt{f_{c'i}} = 20310,8 \text{ MPa} \\ n_1(\text{tendon}) &= E_{ps} / E_c = 8,25 \\ n_2(\text{beton}) &= E_{ctop} / E_c = 0,85 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Luasan total penampang

	Luas A(mm ²)	Jarak di tengah bentang i (mm)	A x i (mm ³)
1	bw.h _{top} .n ₂ = 50,95	y ₁ = 58,30	= 2.970.341
2	(bw.h)-(1/4.π.d ² .9bh) = 120,233	y ₂ = 26,70	= 3.210.674
	(n-1). A _{ps} = 2,049	e ₂ = 30 mm	= 61.494
	Atot = 173.235,62		= 6.242.509,02



Gambar 4.8 Titik berat penampang (dalam 1 pias)

Jarak dari titik penampang :

$$c1 = y1 = 58.30 \text{ mm}$$

$$ctk = ca = 83,30 \text{ mm}$$

$$cbk=cb = 86,70 \text{ mm}$$

$$c2 = y2 = 26,70 \text{ mm}$$

$$e1 = 56,70 \text{ mm}$$

$$e2 = 30 \text{ mm}$$

$$r.lubang = 29 \text{ mm}$$

Momen Inersia transformasi (dengan lebar hcs bw = 1200 mm):

$$\begin{aligned}
 1. \quad & \frac{1}{12} \cdot bw \cdot h_{top}^3 \cdot n_2 &= & 10.615.097 \text{ mm}^4 \\
 & bw \cdot h_{top} \cdot y_1^2 \cdot n_2 &= & 173.159.901,5 \text{ mm}^4 \\
 2. \quad & \frac{1}{12} \cdot bw \cdot h^3 - \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4 \cdot 9 bh \right) \cdot n_2 &= & 142.449.663 \text{ mm}^4 \\
 & (bw \cdot h - \pi \cdot r^2) y_2^2 \cdot n_2 &= & 770.412.501,0 \text{ mm}^4 \\
 & (n_1 - 1) \cdot A_{ps} \cdot e_1^2 &= & \underline{6.590.775,3 \text{ mm}^4} + \\
 & I_{tot} &= & 1.103.277.937,8 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Momen Inersia terhadap titik berat tendon diabaikan :

$$\begin{aligned}
 QDL &= 5,110 \text{ KN/m} \\
 MDL &= 33,11 \text{ KN.m} = 33.110.209 \text{ N.mm} \\
 Pi &= A_{ps} \times f_{pu} \\
 &= 282,60 \text{ mm}^2 \times (0,7 \times 1770 \text{ N/mm}^2) = 350.141 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Tegangan awal prategang

Tegangan awal prategang		tegah serat (atas)		tegah serat (bawah)	
Pi/At	=	-2,021	MPa	-2,021	MPa
Pi. ei. c/Itot	=	1,499	MPa	-1,560	MPa
MDL.c/Itot	=	-2,55	MPa	2,602	MPa
Total	=	-3,022	MPa	-0,979	MPa

Syarat tegangan :

$$\text{Teg. Tekan : } [-3,022] \leq [-0,60 \cdot f_c']$$

$$3,022 \leq 10,099 \text{ MPa (Memenuhi)}$$

- *Maka tegangan tekan yang terjadi pada awal gaya prategang masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan*

Tegangan akhir/ layan akibat terjadi loss of prestress :

Loss of prestress = 12 %

$$P.\text{loss} = (1 - 12\%) \times P_i = 308.124 \text{ N}$$

$$MLL = 19,44 \text{ kN.m} = 19.440.000 \text{ N.mm}$$

Tabel 4.5 Tegangan akhir prategang

Tegangan layan/akhir		Tengah Atas		Tengah Bawah	
Ploss/At	=	-1,78	MPa	-1,78	MPa
Ploss. ei. c/Ick	=	1,319	MPa	-1,373	MPa
MDL.c/Ick	=	-2,50	MPa	2,602	MPa
MLL.c/Ick	=	-1,468	MPa	1,53	MPa
Total	=	-4,427	MPa	0,978	MPa

Syarat tegangan :

$$\text{Teg. Tekan : } [-4,427] \leq [-0,45 \cdot F_c]$$

$$4,427 \leq 11,65 \text{ MPa (Memenuhi)}$$

- Maka tegangan tekan yang terjadi pada akhir/layan gaya prategang masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan

Tegangan akhir pada tendon baja :

$$f_{pu} = 1239 \text{ MPa}$$

$$f_{pu}(\text{setelah losses}) = 1090 \text{ MPa}$$

$$n \times (-P.\text{loss} / A_t) = 8,25 \times \left(-\frac{308.124 \text{ N}}{173.235,62} \right) = -14,68 \text{ MPa}$$

$$n \times \frac{e1}{cb} \times - \frac{P.loss.e1.cb}{Itot} = 8,25 \times \frac{56,70}{86,70} \times - \frac{308.124 \text{ Nx } 56,70 \times 86,70}{1.103.277.937}$$

$$= - 7,41 \text{ MPa}$$

$$n \times \frac{e1}{cb} \times + \frac{MDL.cb}{Itot} = 8.25 \times \frac{56.70}{86,70} \times + \frac{350.141 \text{ Nx } 86,70}{1.103.277.937}$$

$$= 14,04 \text{ MPa}$$

$$n \times \frac{e1}{cb} \times - \frac{MLL.cb}{Itot} = 8.25 \times \frac{56.70}{86,70} \times + \frac{19.440 \text{ Nx } 86,70}{1.103.277.937}$$

$$= 8,246 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} fp.loss &= 1.090 \text{ MPa} - 14,68 \text{ MPa} - 7,41 \text{ MPa} + 14,04 \text{ MPa} \\ &\quad + 8,246 \\ &= 1.090,52 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Maka tegangan yang terjadi pada akhir/layan tendon prategang adalah 1.090,52 MPa

4.9 Perhitungan Kapsitas Momen

$$\text{diameter tendon pratekan (dw)} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tul topping} = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas per tulangan (As1)} &= 1/4 \pi ds^2 \\ &= 28,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{tul tekan (nc)} = 0$$

$$\text{luas total tul tekan (Asc)} = nc.As1 = 0 \text{ mm}^2$$

$$\text{tul tarik (np)} = 0$$

$$\text{luas total tul tarik (Ast)} = np.As1 = 0 \text{ mm}^2$$

$$\text{selimut beton (dc)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{lengan tul pratekan (dp)} = Ctk + e1 = 140 \text{ mm}$$

$$\text{lengan tul non pratekan (d)} = hsl - dc - dw - 0,5ds = 131 \text{ mm}$$

$$\text{teg. tul pratekan efektif (fpu)} = \frac{Pi}{Aps} = \frac{350.141 \text{ N}}{282,6 \text{ mm}^2} = 1.239 \text{ MPa}$$

maka nilai :

$$\rho = \frac{fpy}{fpu} = \frac{1665}{1850} = 0,9$$

$$\gamma_p = 0,28$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ jika } f_c' < 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_p = \frac{Aps}{bw.dp} = 0,0017 \text{ mm}^2$$

$$\rho_c = \frac{Asc}{bw.dp} = 0 \text{ mm}^2$$

$$\rho_t = \frac{Ast}{bw.dp} = 0 \text{ mm}^2$$

$$\omega_c = \frac{\rho_c.fy}{f_c'} = 0$$

$$\omega_t = \frac{\rho_t.fy}{f_c'} = 0$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{dp} \cdot (\omega_t - \omega_c) \right) \right\} = 1.206 \text{ MPa}$$

$$\omega_p = \frac{\rho_p.f_{ps}}{f_c'} = 0,07835$$

$$T_{ps} = f_{ps} \cdot A_{ps} = 1.206 \times 282,6 = 340.858 \text{ kN}$$

$$a = \frac{T_{ps}}{0,85.f_c'.top.bw} = 17,89 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \{ f_c' \cdot b_w \cdot d_p^2 \cdot (0,36 \beta_1 - 0,08 \beta_1^2) \} \\
 &= 0,9 \{ 25,90 \cdot 1200 \cdot 140^2 (0,36 \cdot 0,85 - 0,08 \cdot 0,85^2) \} \\
 &= 136,05 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= (1,2 \times 33,11 \text{ kN.m}) + (1,6 \times 19,44 \text{ kN.m}) \\
 &= 70,84 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi M_n > M_u \text{ (Kapasitas Momen Memenuhi)}$$

4.10 Perhitungan Kapasitas Retak

Syarat kapasitas Momen retak (M_{cr}) sebagai berikut :

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Section Modulus bottom (S}_b\text{)} &= \frac{I_{tot}}{C_b} \\
 &= \frac{1.103.277.937 \text{ mm}^4}{86,70 \text{ mm}} \\
 &= 12.724.694 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Teg. tarik retak (fr)} = 0,7 \sqrt{f_c'}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} \text{ (bottom)} &= \frac{I_{tot}}{C_b} \times \left\{ \frac{P_{loss}}{A_t} + \frac{P_{loss} \cdot e_2}{S_b} + 0,7 \sqrt{f_c'} \right\} \\
 &= \frac{1.103.277.937 \text{ mm}^4}{86,70 \text{ mm}} \times \left\{ \frac{308.124 \text{ N}}{172.235 \text{ mm}} + \frac{308.124 \text{ N} \cdot 30 \text{ mm}}{12.724.694 \text{ mm}^3} + 0,7 \sqrt{25,9} \right\} \\
 &= 85.431.985 \text{ N.mm} = 85,43 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_{cr}} > 1,2$$

$$\frac{136,05 \text{ kN}}{85,43 \text{ kN}} > 1,2$$

$$1,59 > 1,2 \text{ (Kapasitas Momen Retak Masih Memenuhi)}$$

4.11 Perhitungan Kekuatan Geser

lebar pelat (bw) = 1200 mm = 1,2 m

panjang pelat (Lsi) = 7200 mm = 7,2 m

faktor reduksi (ϕ) = 0,85 → untuk geser

kuat tekan beton (f_c') = 25,90 MPa

teg. leleh tul (f_y) = 490 MPa

Gaya- Gaya Geser :

Saat beban layan belum bekerja (geser hanya ditahan oleh HCS saja) :

$$Q_{slb} = 2,65 \text{ kN/m}$$

$$Q_{top} = 0,159 \text{ kN/m}$$

$$Q_{tamb} = 1 \text{ kN/m}$$

$$Q_{ll} = 3 \text{ kN/m}$$

$$V_u .dl = 1,2 . (\frac{1}{2} . (Q_{slb} + Q_{top}) . L_{si})$$

$$= 1,2 . (\frac{1}{2} . (2,65 + 0,159) . 7,2)$$

$$= 17,75 \text{ kN}$$

Saat beban layan telah bekerja (geser ditahan oleh pelat komposit) :

$$Q_d = Q_{slb} + Q_{top} + Q_{tamb}$$

$$= 5,11 \text{ kN/m}$$

$$V_{II} = \frac{1}{2} \cdot Q_{II} \cdot L_{si} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 7,2 = 10,80 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{1}{2} \cdot Q_d \cdot L_{si} = \frac{1}{2} \cdot 5,11 \cdot 7,2 = 18,39 \text{ kN}$$

$$V_u(x) = 1,2 (V_d - Q_d \cdot x) + 1,6 (V_{II} - Q_{II} \cdot x)$$

$$M_u(x) = 1,2 (V_d \cdot x - 0,5 \cdot Q_d \cdot x^2) + 1,6 (V_{II} \cdot x - 0,5 \cdot Q_{II} \cdot x^2)$$

Tabel 4.6 Gaya geser

x_i (m)		$V_u(x_i)$ KN	$M_u(i)$ KN.m
$0,25 \cdot h_{sl} = 0,0425$	=	38,88	1,66
$0,5 \cdot h_{sl} = 0,085$	=	38,42	3,30
$h = 0,12$	=	38,04	4,64

Persyaratan Geser menurut ACI 11.3.2 :

$$0,4 f_{pu} = 740 \text{ MPa} < f_{pi} = 1310 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_{u.dp}}{M_u} < 1$$

$$\lambda \text{ (untuk beton normal) } = 1$$

Persamaan menurut (ACI-318 M 11.3.2) :

$$V_c = (0,05 \lambda \sqrt{f_c'} + 4,8 \frac{V_{u.dp}}{M_u}) \cdot b_w \cdot d$$

Tabel 4.7 Kontrol Perhitungan gaya geser

	V_c (MPa)		$V_{u.dp}/M_u$ (MPa)
V_{c1}	2,24	<	3,27
V_{c2}	1,13	<	1,63
V_{c3}	0,81	<	1,15

- *Dari tabel 4.7 diatas Geser pada setengah tebal pelat komposit masih memenuhi*

Saat beban layan belum bekerja :

$$\begin{aligned} V_c &= V_c. (bw.dp) = 2,24 .(1200 . 140) \\ &= 376.853,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ dl} &< \phi V_c \\ 17,75 \text{ kN} &< 339,17 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

Saat beban layan telah bekerja :

$$\begin{aligned} V_c &= V_c. (bw.(htop + dp) htop.be) \\ &= 1,13 .(1200 (50 +140) 50. 1019) \\ &= 304.333,41 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ ll} &< \phi V_c \\ 38,42 \text{ kN} &< 273,90 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

4.12 Perhitungan Lendutan / Defleksi

Pada kondisi awal (pelat prategang saja) :

$$\begin{aligned} \Delta_{pi} &= \frac{- P_i . e . L s i^2}{8 . E c i . I t o t} \\ &= \frac{- 350.141 \text{ N} . 30 \text{ mm} . 7200^2 \text{ mm}}{8 . 19282 \text{ Mpa} . 1.103.277.937 \text{ mm}^4} \\ &= - 3,20 \text{ mm (ke atas)} \end{aligned}$$

Δ_{bs} (akibat beban sendiri)

$$\begin{aligned}\Delta_{bs} &= \frac{5 \cdot Q_{slb} \cdot L_{si}^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_{tot}} \\ &= \frac{5 \cdot 2,67 \text{ N/mm} \cdot 7200^4 \text{ mm}}{384 \cdot 19282 \text{ Mpa} \cdot 1.103.277.937 \text{ mm}^4} \\ &= 4,39 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dengan menerapkan faktor jangka panjang untuk lendutan bersih pada waktu ereksi, diperoleh :

$$\begin{aligned}\Delta l &= 1,85 \cdot \Delta_{bs} + 1,8 \cdot \Delta_{pi} \\ &= 1,85 \cdot (-3,2) + 1,8 \cdot (4,39) = 2,36 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pada kondisi akhir (pelat komposit) :

Lendutan akibat topping

$$P = A_{pstop} \cdot f_y$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6^2 \cdot 490 = 13847,4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{top} &= \frac{-1 \cdot P_l \cdot L_{si}^3}{48 \cdot E_{c} \cdot I_{tot}} \\ &= \frac{-1 \cdot 13847,4 \text{ N} \cdot 7200^3}{48 \cdot 23917,4 \text{ MPa} \cdot 1.103.277.937 \text{ mm}^4} \\ &= -4,08 \text{ mm (ke atas)}\end{aligned}$$

Lendutan akibat beban mati (SDL):

$$\begin{aligned}\Delta_{sdl} &= \frac{5 \cdot Q_{dli} \cdot L_{si}^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_{tot}} \\ &= \frac{5 \cdot 5,11 \text{ N/mm} \cdot 7200^4 \text{ mm}}{384 \cdot 19282 \text{ Mpa} \cdot 1.103.277.937 \text{ mm}^4} = 8,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan akibat beban hidup (SLL):

$$\begin{aligned}\Delta_{sll} &= \frac{5 \cdot Q_{ll} \cdot L_{si}^3}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_{tot}} \\ &= \frac{5 \cdot 3 \text{ N/mm} \cdot 7200^4 \text{ mm}}{384 \cdot 19282 \text{ Mpa} \cdot 1.103.277.937 \text{ mm}^4} \\ &= 5,93 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat lendutan maksimum akibat beban hidup :

$$\Delta_{sll} = 5,93 < \frac{L_{si}}{360} = 20 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jadi total lendutan jangka panjang yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= 2,2 \cdot \Delta_{pi} + 2,4 \cdot \Delta_{bs} + 2,3 \cdot \Delta_{top} + 3 \cdot \Delta_{sdl} + 3 (30\% \Delta_{sll}) \\ &= 23,77 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi lendutan total Δ_{tot} :

$$\begin{aligned}&= \Delta_2 - \Delta_1 + (70\% \Delta_{sll}) \\ &= 23,77 - (2,36) + (70\% \cdot 5,93) \\ &= 24,86 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat lendutan maksimum :

$$\Delta_{tot} = 24,86 < \frac{L_{si}}{240} = 30 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Jadi nilai lendutan maksimum pada pelat HCS 1 – CIR sebesar 24,86 mm terletak pada tengah bentang pelat masih memenuhi nilai lendutan maksimum yang disyaratkan

4.13 Hasil Perhitungan Analitis

Berikut merupakan hasil perhitungan manual tegangan lentur pada pelat HCS dari beberapa tipe model.

Tabel 4.8 Tegangan Lentur HCS

No	Model Pelat	Perhitungan Analitis			
		Tegangan Awal		Tegangan layan	
		Tekan (-)	Tarik (+)	Tekan (-)	Tarik (+)
1	<i>HCS 1 - CIR</i>	3.02	-0.98	4.43	0.98
2	<i>HCS 2 - CIR</i>	3.25	-0.86	4.89	1.30
3	<i>HCS 3 - CIR</i>	3.45	-0.75	5.31	1.59
4	<i>HCS 4 - CIR</i>	3.85	-0.53	6.12	2.14
5	HCS 1A - CIR	1.45	-2.73	1.49	-2.09
6	HCS 2A - CIR	1.42	-2.83	1.50	-2.14
7	HCS 3A - CIR	1.40	-2.89	1.51	-2.17
8	<i>HCS 1 - SQ</i>	3.03	-0.97	4.44	0.99
9	<i>HCS 2 - SQ</i>	3.26	-0.85	4.91	1.31
10	<i>HCS 3 - SQ</i>	3.46	-0.74	5.33	1.60
11	<i>HCS 4 - SQ</i>	3.86	-0.51	6.13	2.16
12	HCS 1A - SQ	0.92	-1.11	1.03	-0.66
13	HCS 2A - SQ	0.93	-1.12	1.07	-0.64
14	HCS 3A - SQ	0.95	-1.14	1.12	-0.62

Berikut merupakan hasil perhitungan manual tegangan prategang pada tendon pc-wire dari beberapa tipe model.

Tabel 4.9 Tegangan Prategang tendon pc-wire

No	Model Pelat	Tegangan Pc-wire (MPa)	
		f_{pu}	$f_{p.Loss}$
1	HCS 1 - CIR	1239.0	1090.5
2	HCS 2 - CIR	1239.0	1091.9
3	HCS 3 - CIR	1239.0	1093.0
4	HCS 4 - CIR	1239.0	1094.9
5	HCS 1A - CIR	1239.0	1073.9
6	HCS 2A - CIR	1239.0	1074.7
7	HCS 3A - CIR	1239.0	1075.1
8	HCS 1 - SQ	1239.0	1090.6
9	HCS 2 - SQ	1239.0	1092.0
10	HCS 3 - SQ	1239.0	1093.1
11	HCS 4 - SQ	1239.0	1094.9
12	HCS 1A - SQ	1239.0	1084.4
13	HCS 2A - SQ	1239.0	1084.8
14	HCS 3A - SQ	1239.0	1085.1

Berikut merupakan hasil perhitungan manual kapasitas momen pada pelat HCS dari beberapa tipe model.

Tabel 4.10 Kapasitas Momen pelat HCS

No	Model Pelat	Kapasitas Momen(kN.m)			Kontrol Kapasitas Momen	
		M_u	ϕM_n	M_{cr}	$\phi M_n > M_u$	$\phi M_n > 1.2 M_{cr}$
1	HCS 1 - CIR	70.84	136.05	85.43	OK	OK
2	HCS 2 - CIR	70.84	155.72	81.16	OK	OK
3	HCS 3 - CIR	70.84	173.56	77.97	OK	OK
4	HCS 4 - CIR	70.84	208.53	73.01	OK	OK
5	HCS 1A - CIR	39.11	260.77	245.90	OK	TDK OK
6	HCS 2A - CIR	39.11	298.47	233.06	OK	OK
7	HCS 3A - CIR	39.11	325.13	225.25	OK	OK
8	HCS 1 - SQ	70.90	136.05	85.23	OK	OK
9	HCS 2 - SQ	70.90	155.72	80.98	OK	OK
10	HCS 3 - SQ	70.90	173.56	77.80	OK	OK
11	HCS 4 - SQ	70.90	208.53	72.86	OK	OK
12	HCS 1A - SQ	39.14	265.70	189.13	ok	ok
13	HCS 2A - SQ	39.14	298.47	181.04	OK	OK
14	HCS 3A - SQ	39.14	332.65	173.77	OK	OK

Berikut merupakan hasil perhitungan manual tegangan geser pada pelat HCS dari beberapa tipe model.

Tabel 4.11 Tegangan Geser

No	Model Pelat	Tegangan Geser (kN)		Kontrol Geser
		V_u	$\phi \cdot V_c$	$V_u < \phi \cdot V_c$
1	HCS 1 - CIR	38.9	273.9	OK
2	HCS 2 - CIR	38.9	271.2	OK
3	HCS 3 - CIR	38.9	269.2	OK
4	HCS 4 - CIR	38.9	266.1	OK
5	HCS 1A - CIR	30.8	1000.9	OK
6	HCS 2A - CIR	30.8	991.0	OK
7	HCS 3A - CIR	30.8	985.1	OK
8	HCS 1 - SQ	38.9	273.9	OK
9	HCS 2 - SQ	38.9	302.9	OK
10	HCS 3 - SQ	38.9	300.6	OK
11	HCS 4 - SQ	38.9	297.0	OK
12	HCS 1A - SQ	30.8	1116.6	OK
13	HCS 2A - SQ	30.8	1106.8	OK
14	HCS 3A - SQ	30.8	1098.4	OK

Berikut merupakan hasil perhitungan manual lendutan maksimum pada pelat HCS dari beberapa tipe model.

Tabel 4.12 Lendutan pada HCS

No	Model Pelat	Lendutan maks (mm)		Kontrol Lendutan
		Δ . maks	Δ . L /240	Δ . Maks < Δ .ijin
1	HCS 1 - CIR	24.86	30	OK
2	HCS 2 - CIR	26.33	30	OK
3	HCS 3 - CIR	27.55	30	OK
4	HCS 4 - CIR	29.68	30	OK
5	HCS 1A - CIR	18.78	21	OK
6	HCS 2A - CIR	19.02	21	OK
7	HCS 3A - CIR	19.32	21	OK
8	HCS 1 - SQ	24.97	30	OK
9	HCS 2 - SQ	26.45	30	OK
10	HCS 3 - SQ	27.68	30	OK
11	HCS 4 - SQ	29.81	30	OK
12	HCS 1A - SQ	18.65	21	OK
13	HCS 2A - SQ	18.94	21	OK
14	HCS 3A - SQ	19.07	21	OK

“Halaman Ini sengaja dikosongkan”

BAB V

HASIL DAN ANALISA PERMODELAN DENGAN *FINITE ELEMENT*

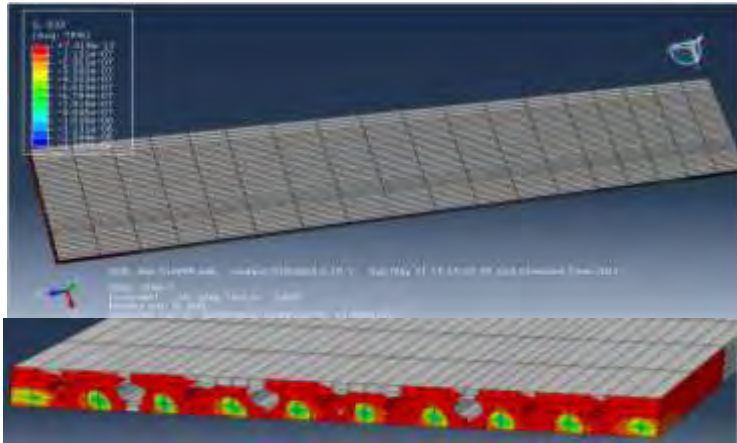
5.1 Hasil dan Analisa Permodelan HCS

Dari hasil permodelan hollow core slabs (HCS) dengan menggunakan software finite element maka didapatkan tegangan dan lendutan yang terjadi pada berbagai tipe permodelan yang di desain sebagai berikut :

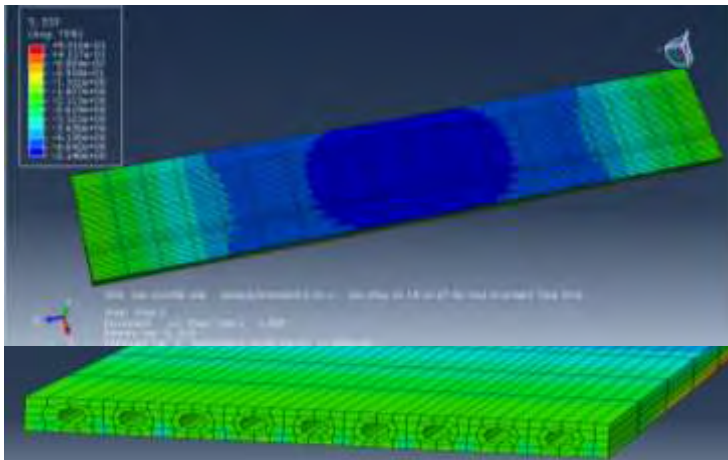
Tabel. 5.1 Tipe Permodelan pelat

No.	Nama Pelat	Tipe Rongga	Dimensi	Mutu Beton	Keterangan
1	<i>HCS 1 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Prategang</i>
2	<i>HCS 2 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-450	<i>Prategang</i>
3	<i>HCS 3 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-500	<i>Prategang</i>
4	<i>HCS 4 - CIR</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-600	<i>Prategang</i>
5	HCS 1A - CIR	bulat	<i>5000 mm x 2300 mm</i>	<i>K-400</i>	<i>Prategang</i>
6	HCS 2A - CIR	bulat	<i>5000 mm x 2300 mm</i>	<i>K-450</i>	<i>Prategang</i>
7	HCS 3A - CIR	bulat	<i>5000 mm x 2300 mm</i>	<i>K-500</i>	<i>Prategang</i>
8	<i>HCS 1 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Prategang</i>
9	<i>HCS 2 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-450	<i>Prategang</i>
10	<i>HCS 3 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-500	<i>Prategang</i>
11	<i>HCS 4 - SQ</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-600	<i>Prategang</i>
12	HCS 1A - SQ	persegi	<i>5000 mm x 2300 mm</i>	K-400	<i>Prategang</i>
13	HCS 2A - SQ	persegi	<i>5000 mm x 2300 mm</i>	K-450	<i>Prategang</i>
14	HCS 3A - SQ	persegi	<i>5000 mm x 2300 mm</i>	K-500	<i>Prategang</i> <i>Non -</i>
15	<i>HCS 1 - NON</i>	bulat	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Prategang</i> <i>Non -</i>
16	<i>HCS 2 - NON</i>	persegi	7200 mm x 1200 mm	K-400	<i>Prategang</i>

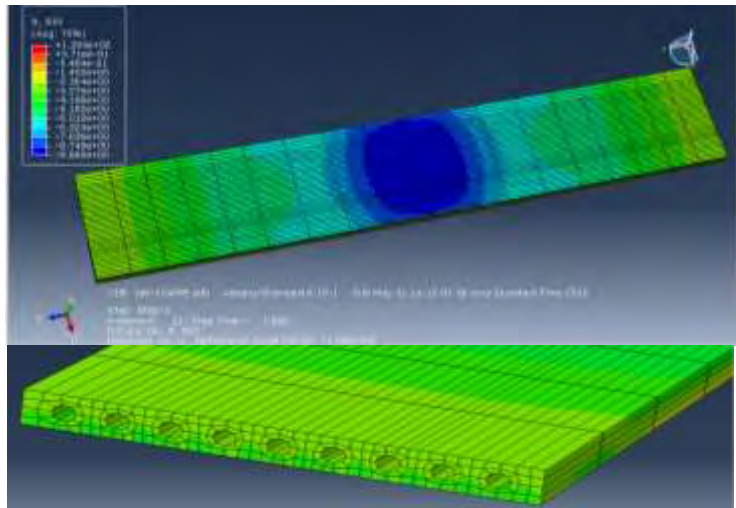
Hasil analisa program ditampilkan pada modul ini. Visualisasi hasil analisa berupa kontur tegangan pada permodelan pada setiap step yang dibuat. Kontur tegangan ditunjukkan pada Gambar 5.1 sampai dengan 5.7



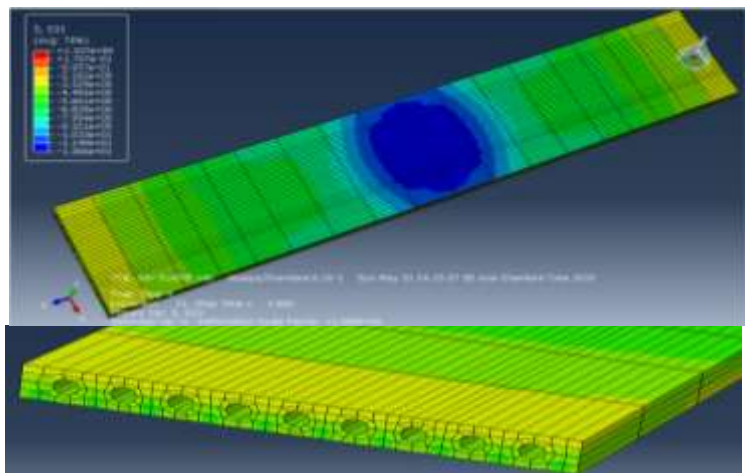
Gambar 5. 1 Step-1, *Prestressed release*.



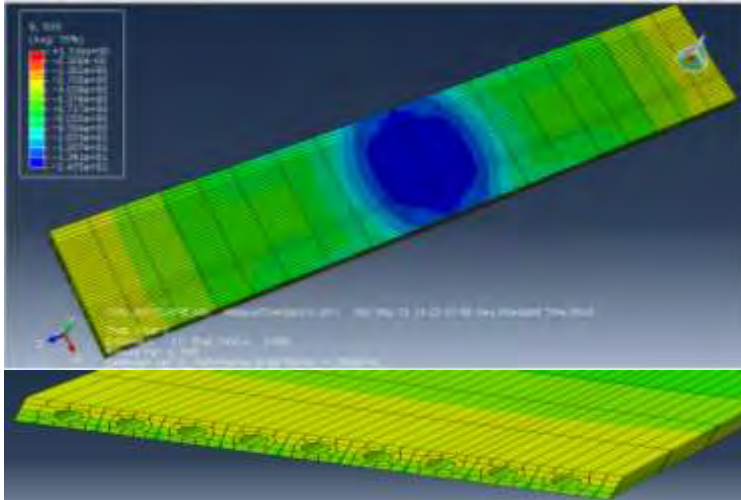
Gambar 5. 2 Step-2, Displacement 10 mm



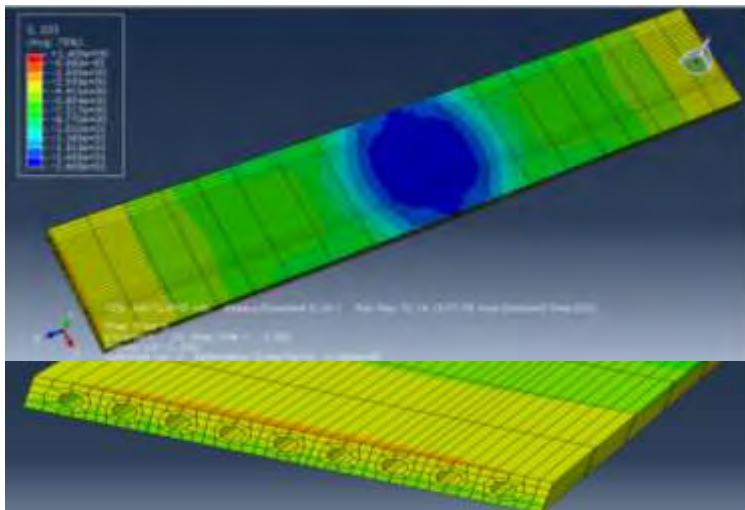
Gambar 5.3 Step-3, Displacement 20 mm



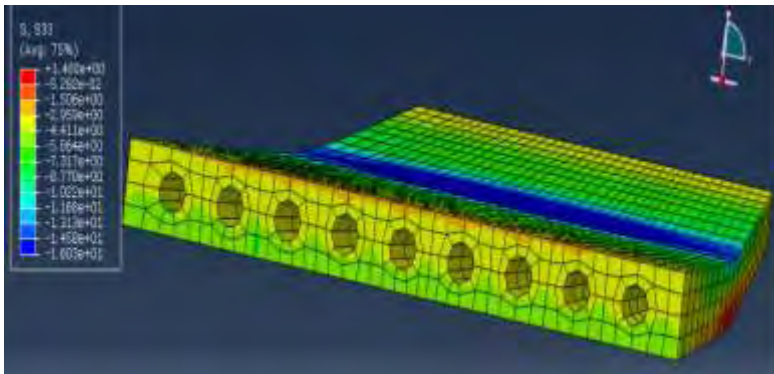
Gambar 5.4 Step-4, Displacement 30 mm



Gambar 5.5 Step-5, Displacement 40 mm

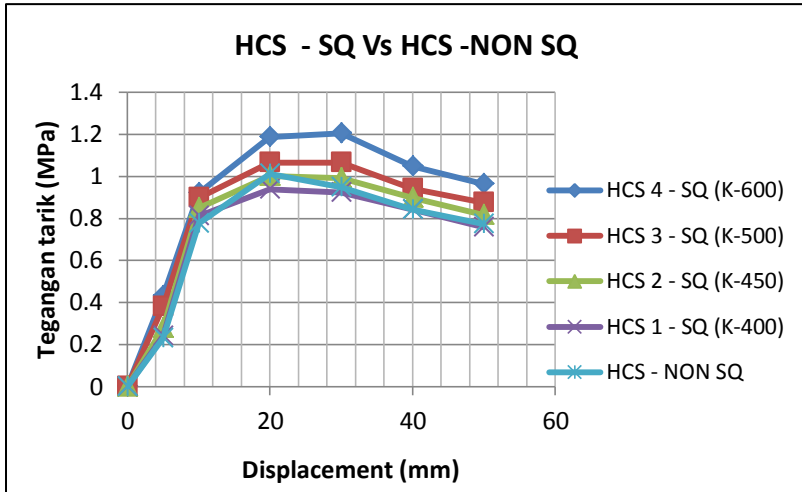


Gambar 5.6 Step-6, Displacement 50 mm

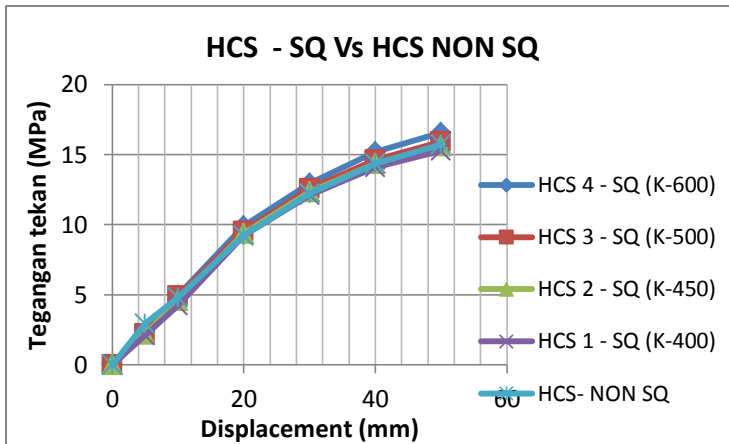


Gambar 5.7 Penampang HCS melendut pada Step-5

Untuk mendapatkan perilaku dari masing-masing struktur maka dibuat grafik perbandingan sebagai berikut :

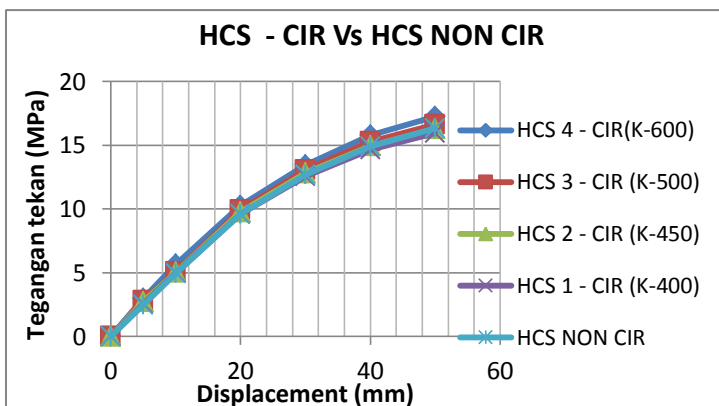


Gambar 5.8 Grafik Teg. tarik HCS – SQ Vs HCS – NON SQ

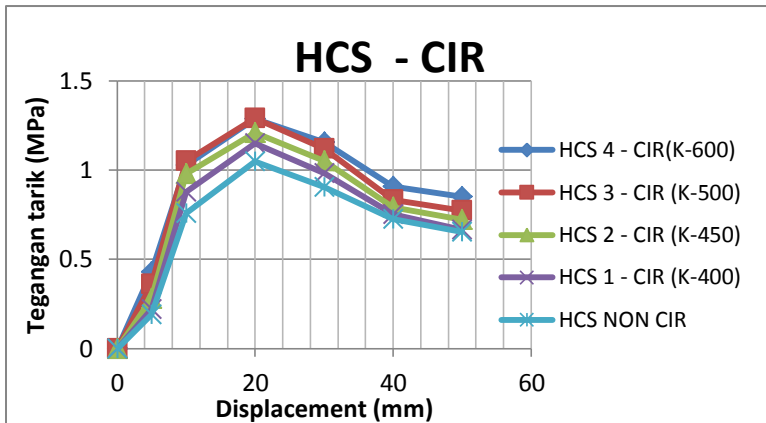


Gambar 5. 9 Grafik Teg. tekan HCS – SQ Vs HCS – NON SQ

Berdasarkan perbandingan hasil analisa pada model HCS 1- SQ, HCS 2- SQ, HCS 3- SQ, HCS 4- SQ dengan model HCS – NON SQ, didapatkan bahwa, tegangan lentur tarik yang terbesar terdapat pada model HCS 4 – SQ dengan nilai 1.205 MPa dan tegangan lentur tekan dengan nilai 16.552 MPa. Variabel displacement sama.

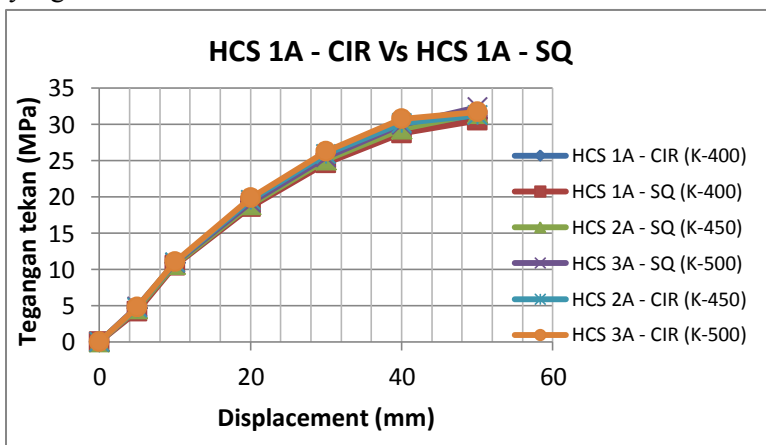


Gambar 5. 10 Grafik Teg. tekan HCS – CIR Vs HCS – NON CIR

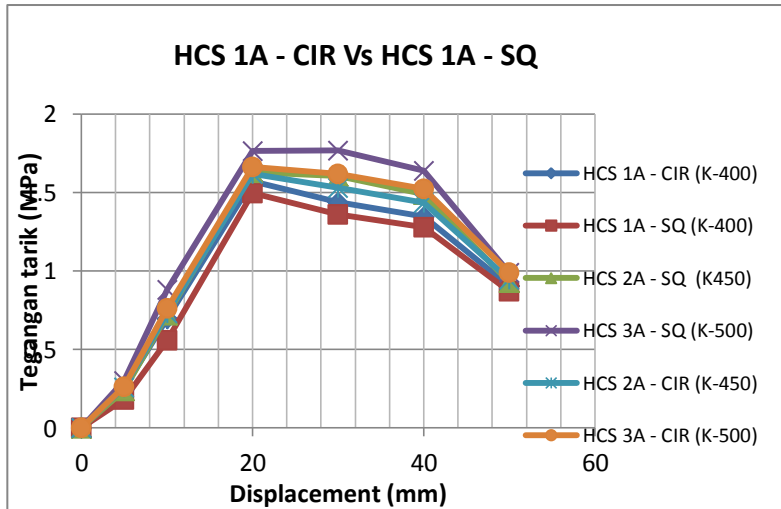


Gambar 5 11 Grafik Teg tarik HCS – CIR Vs HCS – NON CIR

Berdasarkan perbandingan hasil analisa pada model HCS 1- CIR, HCS 2- CIR, HCS 3- CIR, HCS 4- CIR dengan model HCS – NON CIR, didapatkan bahwa, tegangan lentur tarik yang terbesar terdapat pada model HCS 3 – CIR dengan nilai 1.29 MPa dan tegangan lentur tekan terbesar pada HCS 4- CIR dengan nilai 17.258 MPa. Dengan perbandingan variabel displacement yang sama.



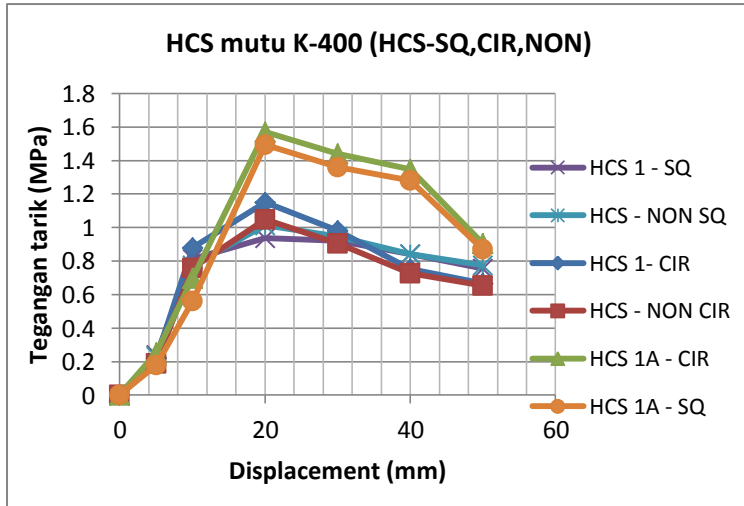
Gambar 5.12 Grafik Teg. tekan HCS 1A – CIR Vs HCS 1A - SQ



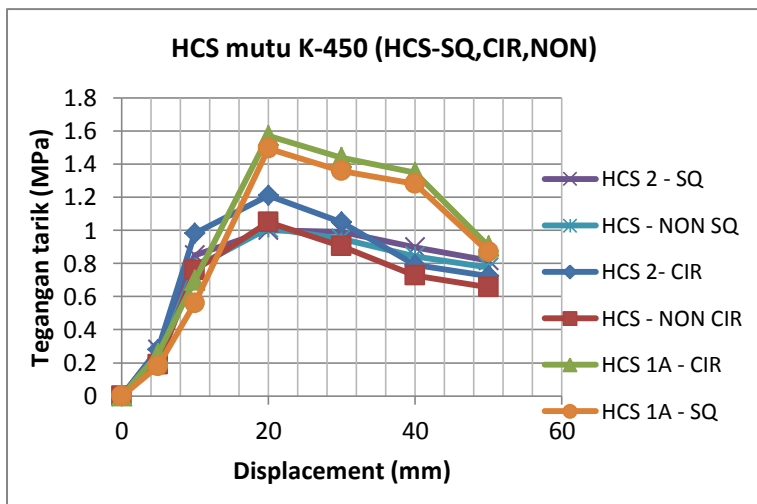
Gambar 5.13 Grafik Teg. tarik HCS 1A – CIR Vs HCS 1A - SQ

Berdasarkan perbandingan hasil analisa pada model HCS 1A - CIR dengan model HCS 1A - SQ, didapatkan bahwa, tegangan lentur tarik yang terbesar terdapat pada model HCS 1A – SQ dengan nilai 1.495 MPa dan tegangan lentur tekan terbesar pada model HCS 1A - CIR dengan nilai 30.95 MPa. Variabel displacement sama.

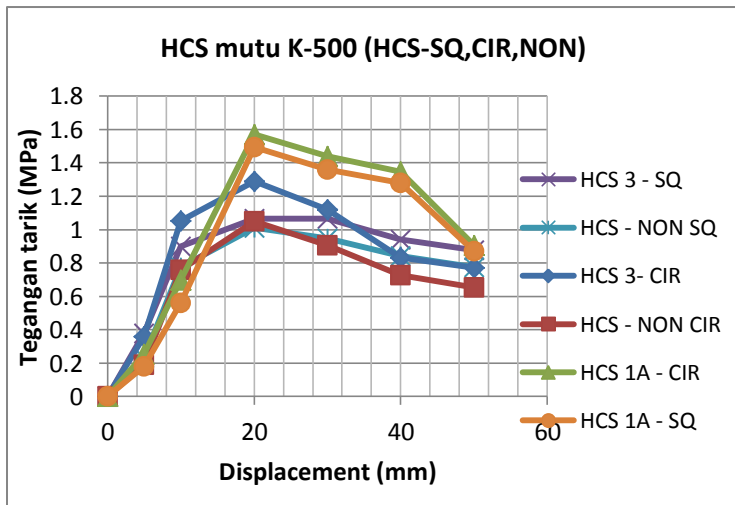
Berikut adalah grafik tegangan tarik dan tekan pengelompokan HCS prategang berdasarkan variabel mutu beton terhadap HCS 1A dan HCS non prategang .



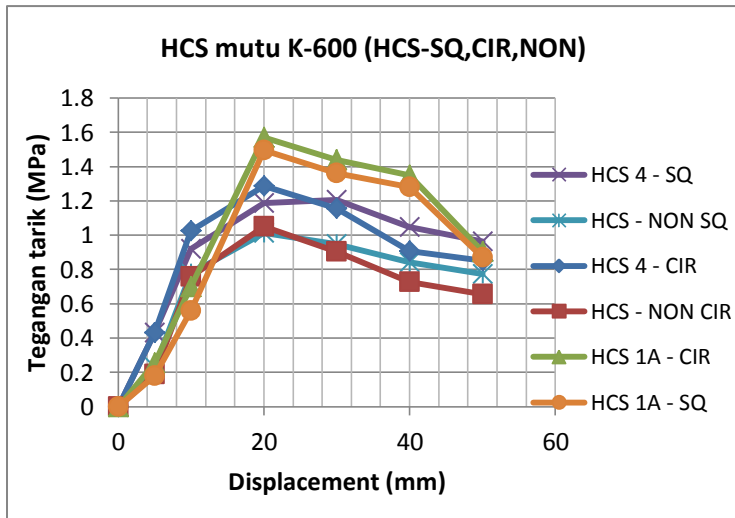
Gambar 5.14 Grafik Teg. tarik HCS mutu K-400



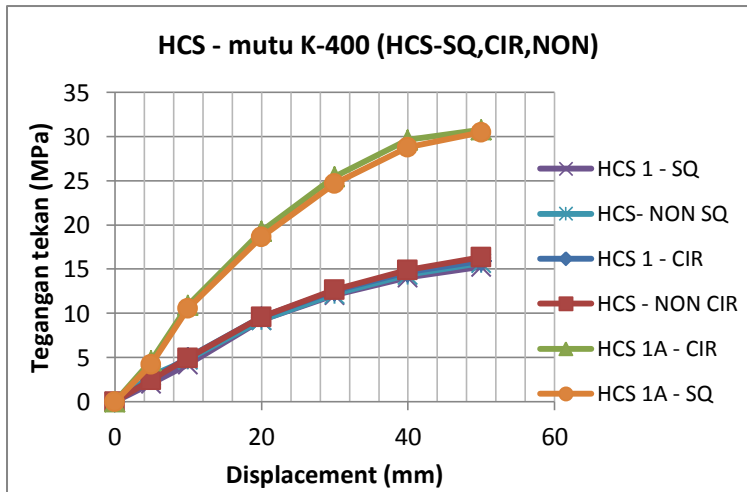
Gambar 5.15 Grafik Teg. tarik HCS mutu K- 450



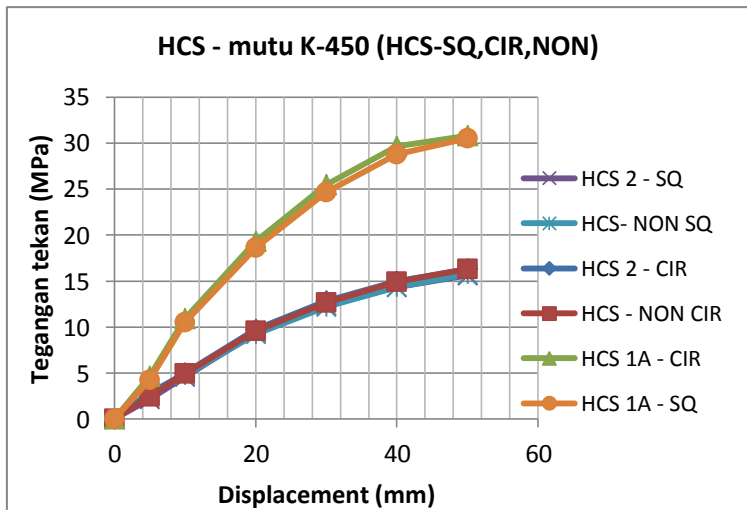
Gambar 5.16 Grafik Teg. tarik HCS mutu K- 500



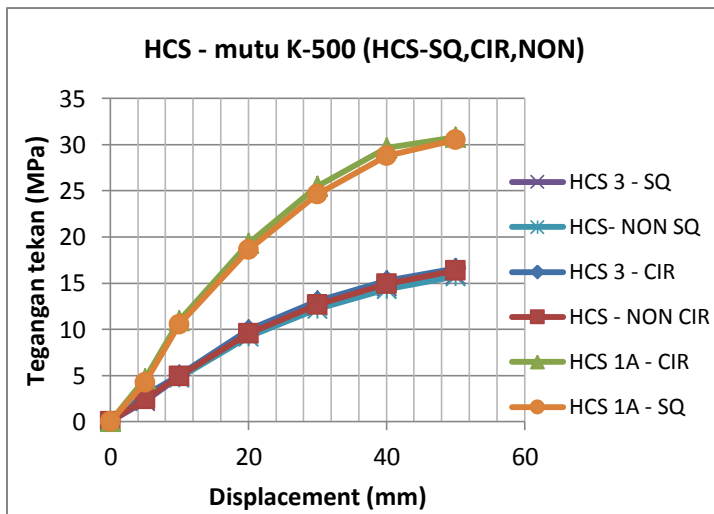
Gambar 5.17 Grafik Teg. tarik HCS mutu K- 600



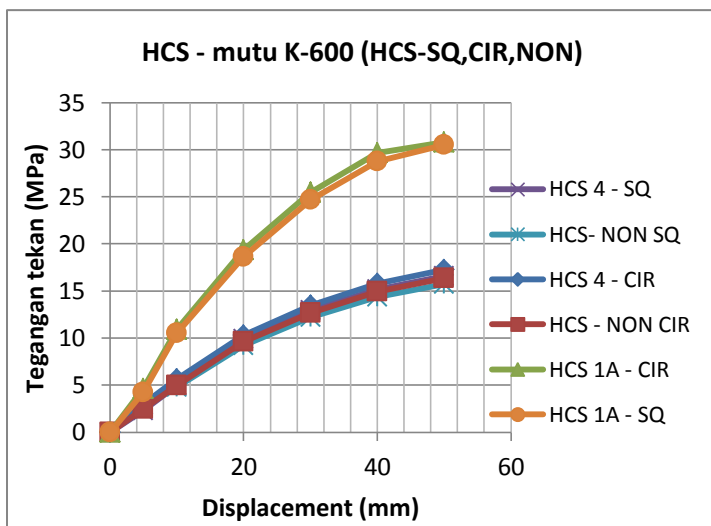
Gambar 5.18 Grafik Teg. tekan HCS mutu K- 400



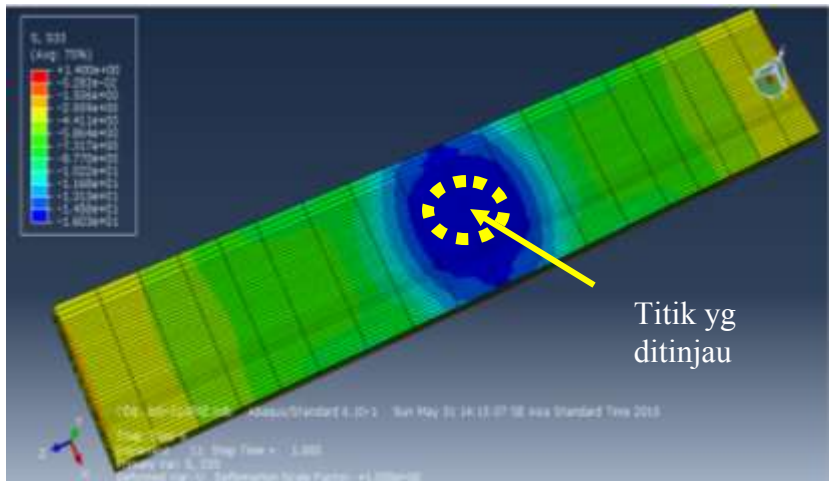
Gambar 5.19 Grafik Teg. tekan HCS mutu K- 450



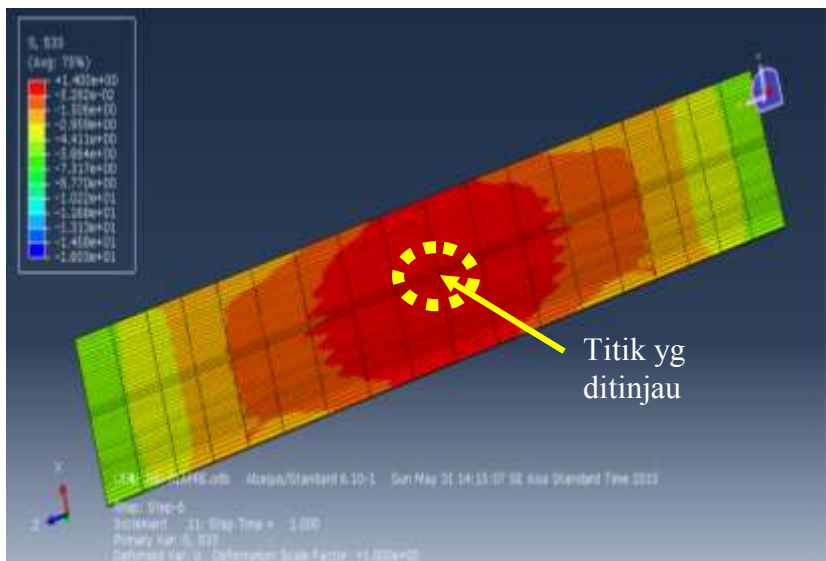
Gambar 5.20 Grafik Teg. tekan HCS mutu K- 500



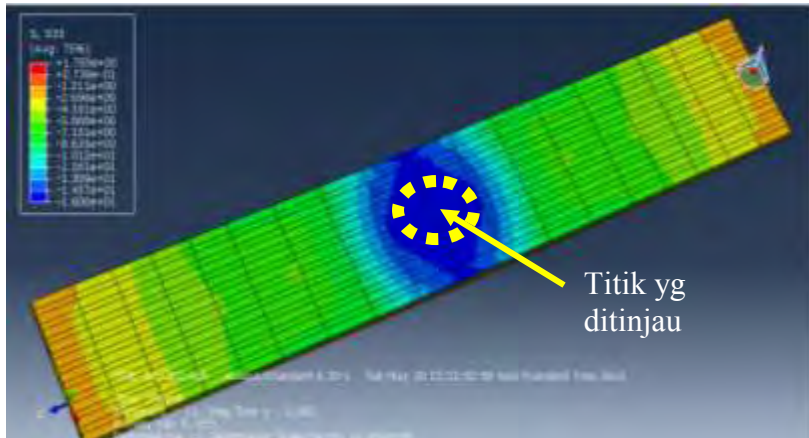
Gambar 5.21 Grafik Teg. tekan HCS mutu K- 600



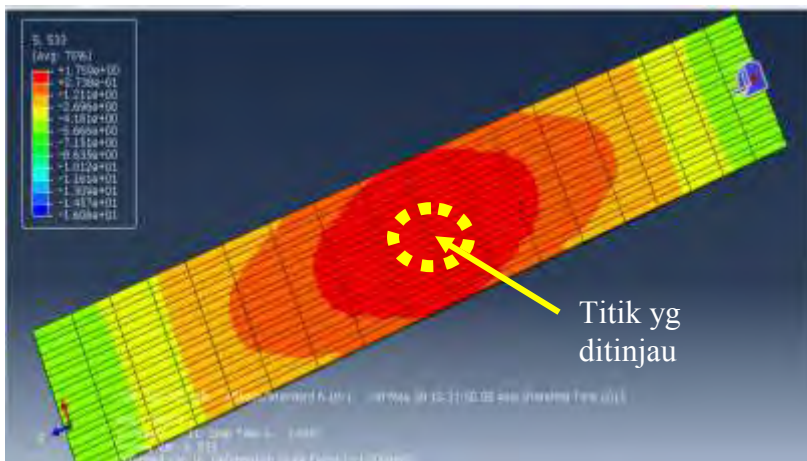
Gambar 5.22 Tegangan tampak atas HCS 1 - CIR



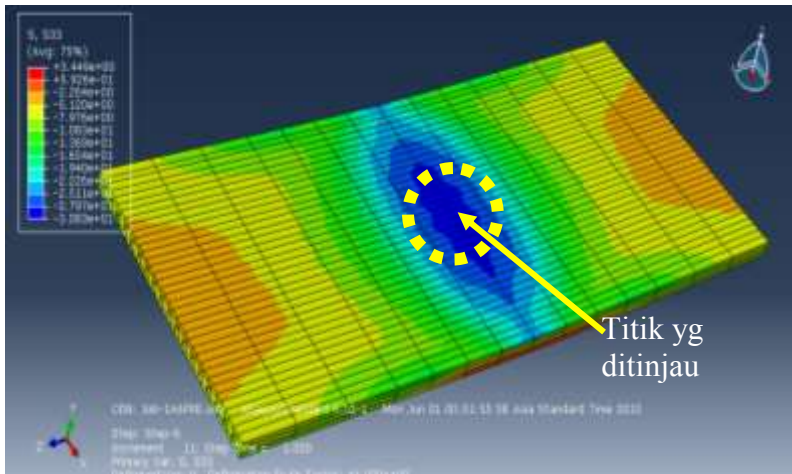
Gambar 5.23 Tegangan tampak bawah atas HCS 1 - CIR



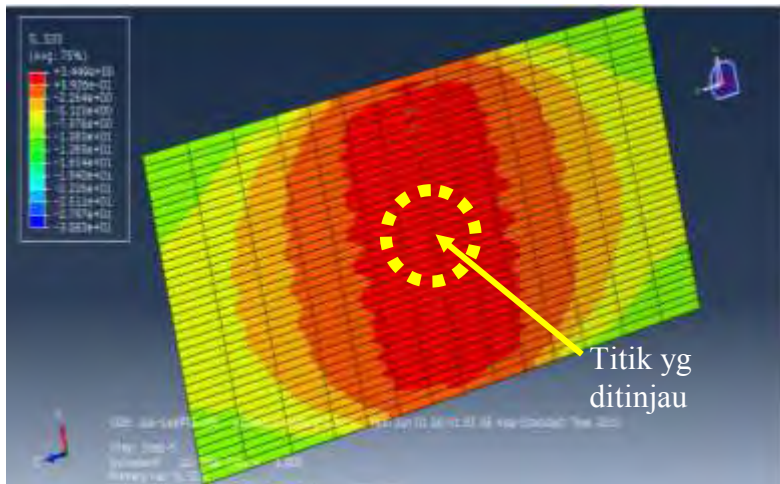
Gambar 5.24 Tegangan tampak atas HCS 1 - SQ



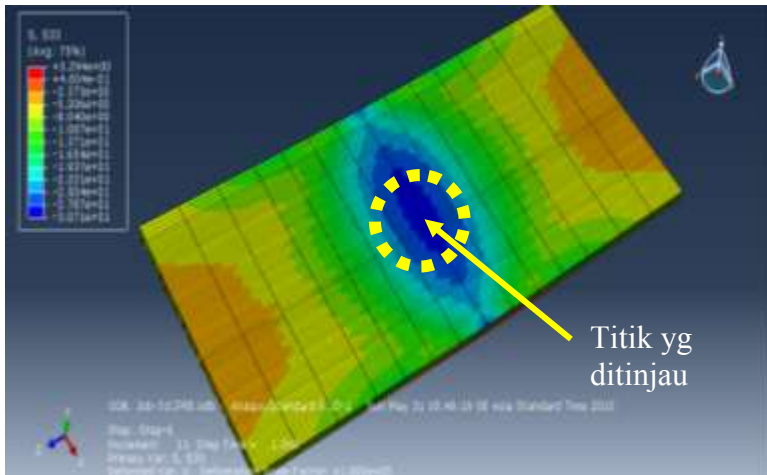
Gambar 5.25 Tegangan tampak bawah HCS 1 - SQ



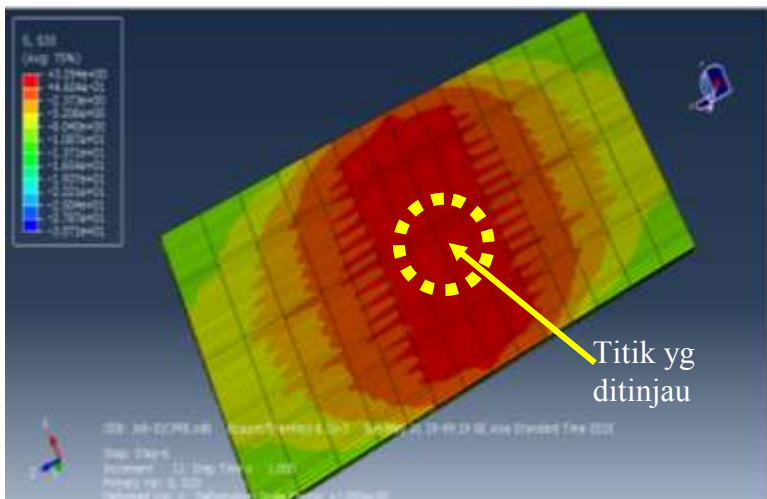
Gambar 5.26 Tegangan tampak atas HCS 1A - SQ



Gambar 5.27 Tegangan tampak bawah HCS 1A - SQ



Gambar 5.28 Tegangan tampak atas HCS 1A - CIR



Gambar 5.29 Tegangan tampak bawah HCS 1A - CIR

5.2. Perbandingan Hasil Permodelan HCS

Tabel 5.2. Perbandingan teg. tarik dan teg. tekan

Nama Pelat	Tegangan Tarik Maksimum	Nama Pelat	Tegangan Tekan Maksimum
<i>HCS 1 - CIR</i>	0.938	<i>HCS 1 - CIR</i>	15.282
<i>HCS 2 - CIR</i>	1.001	<i>HCS 2 - CIR</i>	15.59
<i>HCS 3 - CIR</i>	1.066	<i>HCS 3 - CIR</i>	15.92
<i>HCS 4 - CIR</i>	1.205	<i>HCS 4 - CIR</i>	16.552
HCS 1A - CIR	1.44	HCS 1A - CIR	30.79
HCS 2A - CIR	1.53	HCS 2A - CIR	31.25
HCS 3A - CIR	1.66	HCS 3A - CIR	31.71
<i>HCS 1 - SQ</i>	1.15	<i>HCS 1 - SQ</i>	15.947
<i>HCS 2 - SQ</i>	1.21	<i>HCS 2 - SQ</i>	16.288
<i>HCS 3 - SQ</i>	1.29	<i>HCS 3 - SQ</i>	16.624
<i>HCS 4 - SQ</i>	1.287	<i>HCS 4 - SQ</i>	17.258
HCS 1A - SQ	1.495	HCS 1A - SQ	30.5
HCS 2A - SQ	1.63	HCS 2A - SQ	31.44
HCS 3A - SQ	1.765	HCS 3A - SQ	32.38
<i>HCS 1 - NON CIR</i>	1.049	<i>HCS 1 - NON CIR</i>	16.341
<i>HCS 2 - NON SQ</i>	1.013	<i>HCS 2 - NON SQ</i>	15.713

Tegangan tarik terbesar pada HCS 3A – SQ sebesar 1,765 MPa dan tegangan tekan terbesar pada HCS 3A – SQ sebesar 32,38 MPa. Nilai tegangan tarik model HCS 3A – SQ memiliki nilai perbedaan tegangan tarik beton sebesar 0,59 MPa atau 25% dari nilai teoritisnya yaitu 2,35 MPa.

Nilai tegangan tekan model HCS 3A – SQ memiliki nilai perbedaan tegangan tekan beton sebesar 1,18 MPa atau 3,64 % dari nilai teoritisnya yaitu 31,2 MPa

Dari pengujian beberapa model pelat diatas diringkas dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 5.3 Rangkuman hasil permodelan pelat HCS

No	Type Pelat	Tegangan		Pmax (kN)	Displacement maks (mm)
		Tekan (-) MPa	Tarik (+) MPa		
1	HCS 1 - CIR	12.58	0.98	9.22	28.25
2	HCS 1A - CIR	25.49	1.44	6.32	19.21
3	HCS 1 - SQ	12.09	0.92	15.80	28.46
4	HCS 1A - SQ	24.65	1.36	12.44	19.95
5	HCS 1 - NON CIR	12.67	0.91	8.07	28.43
6	HCS 1 -NON SQ	12.21	0.95	13.55	28.51

Model pelat HCS 1 – SQ dengan dimensi (7200 x1200) mm memiliki nilai nilai tegangan lentur tekan sebesar 12,09 MPa tarik sebesar 0,92 MPa lebih kecil dibandingkan dengan pelat HCS 1 – CIR. Sementara P maksimumnya sebesar 15,80 kN dan displacement maksimum sebesar 28,46 mm lebih besar dibandingkan dengan pelat HCS 1 – CIR.

Model pelat HCS 1A – SQ dengan dimensi (5000 x2300) mm memiliki nilai nilai tegangan lentur tekan sebesar 24,65 MPa tarik sebesar 1,36 MPa lebih kecil dibandingkan dengan pelat HCS 1A – CIR. Sementara P maksimumnya sebesar 12,44 kN dan displacement maksimum sebesar 19,55 mm lebih besar dibandingkan dengan pelat HCS 1A – CIR.

Model pelat HCS – SQ merupakan pelat berongga persegi dari permodelan yang telah dilakukan memenuhi kriteria yang disyaratkan sebagai hasil untuk pertimbangan perencanaan selanjutnya.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan pada pelat *Hollow Core Slabs (HCS) prategang* dengan pelat HCS precast non prategang, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil perhitungan kontrol penampang secara manual, pelat *Hollow Core Slabs (HCS)* momen retak(M_{cr}) terbesar pada pelat HCS 1– CIR sebesar 85,43 kN.m dan momen nominalnya(M_n) sebesar 136,05 kN.m. Karena momen retak dengan mutu beton K-400 pada pelat HCS 1– CIR lebih besar dari pelat dengan mutu beton (f_c) diatasnya, menggunakan beton prategang, dan bentangnya lebih pendek.
- 2) Kehilangan gaya prategang terbesar terjadi pelat HCS 1A – CIR sebesar 16,91%. Karena terjadi perpendekan elastis beton dan rangkai beton yang dominan yaitu nilai tegangan beton pada c.g.s (f_{cir}) 2 kali lipat akibat beban gaya (P_i .kabel) dipengaruhi oleh jumlah tendon wiranya sebanyak 20 buah.
- 3) Tegangan geser terbesar terjadi pada pelat HCS 4A – CIR yaitu 14,61% dari nilai tegangan geser nominalnya 266,1 kN, karena nilai kuat geser (V_c) dipengaruhi oleh faktor mutu beton. Nilai tegangan geser yang terjadi relatif kecil sehingga tidak membutuhkan tulangan geser.
- 4) Lendutan (Δ) dari model pelat *Hollow Core Slabs (HCS)* terkecil pada model pelat HCS 1 – CIR sebesar 24,86 mm dibandingkan dengan model pelat HCS 1 – SQ dengan dimensi yang sama (1200 x 7200)mm, karena dipengaruhi oleh nilai momen inersia komposit (I_{ck}) diantara berbagai permodelan tersebut.
- 5) Dari hasil enambelas model pelat *Hollow Core Slabs (HCS)* dengan menggunakan software finite element, Tegangan tarik maksimum terjadi pada model pelat HCS 3A – SQ sebesar 1,765

MPa sedangkan tegangan tekan terbesar pada pelat HCS 3A – SQ 32,38 MPa masing-masing memiliki dimensi (2300 x 5000)mm. Tegangan tekan yang terjadi memiliki selisih 16,97% dari nilai teoritis tegangan betonnya sebesar 39 MPa. Hal ini karena pelat HCS 3A – SQ memiliki tulangan yang lebih banyak dan bentang yang pendek.

- 6) Nilai tegangan lentur, geser, beban gaya (P)maksimum dan displacement yang terjadi dari ke enambelas permodelan pelat HCS yang telah dilakukan nilai selisihnya relatif tidak terlalu jauh. Jika mutu beton dinaikan satu tingkat di atasnya nilai displacement mengalami peningkatan sebesar 1,48 mm atau 1,6%. Pelat HCS 1-SQ dipilih sebagai bahan pertimbangan perencanaan selanjutnya.

6.2 Saran

- 1) Perlu studi lebih lanjut mengenai perilaku *Hollow Core Slabs (HCS) prategang* terhadap hubungan sambungan dengan struktur gedung dalam menerima beban lateral atau beban gempa.
- 2) Perlu pengujian laboratorium akibat pembebanan monotonic kombinasi beban aksial, lateral dan momen.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional.(2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung(SNI 2847 2002)*. Surabaya.

Lin, T.Y., dan Ned H.Burns. 1993. *Desain Struktur Beton Prategang*. Edisi ke 3. Jilid 1. Diterjemahkan oleh : Daniel Indrawan M.C.E. Jakarta : Erlangga.

Lin, T.Y., dan Ned H.Burns. 1997. *Desain Struktur Beton Prategang*. Edisi ke 3. Jilid 2. Diterjemahkan oleh : Daniel Indrawan M.C.E. Jakarta : Erlangga.

Nawy, G.Edward. 2001. *Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar*. Edisi ke 3 Jilid 1 dan 2. Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga.

Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung : Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan Gedung.

Buettner Donald.R.dkk. 1998. *PCI Manual For The Design Of Hollow Core Slabs*. Second Edition.Chicago : Precast/Prestressed Concrete Institute.

Pisanty , “ *The Shear Strength of Extruded Hollow-Core Slabs* “ , Journal, 1992, page 224-230

Hegger.J. dkk , “ *Shear Capacity of Prestressed Hollow Core Slabs in Slim Floor Construction*, Journal , 2008 , page 551 – 559

Hawkins, Neil.M dan Ghosh, S.K., “ *Shear Strength of Hollow Core Slabs* “, PCI Journal, 2006 , page 110 - 114

Pajari M, Koukkari H. *Shear resistance of PHC slabs supported on beams I: Tests. J. Struct. Eng.* 1998;1051_61.

BIODATA PENULIS



RIVAN TOVANI,

Lahir di Mojokerto 10 Juli 1990, merupakan anak ke empat dari empat bersaudara anak, dari pasangan Purwanto dan Arofah.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Banjaragung I Mojokerto, SLTP Negeri 4 Kota Mojokerto, dan SMA Negeri 1 Kota Mojokerto, kemudian penulis melanjutkan studinya di Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2012.

Selanjutnya, pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil (FTSP-ITS) Surabaya melalui Program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP. 3112 106 027.

Pada jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS Surabaya, penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dan mengambil Bidang Studi Struktur.

tovani27@gmail.com